

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ІМ. І. СІКОРСЬКОГО

Інженерно-хімічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: Автоматизація процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням

Виконав студент 4 курсу, групи ЛА-51

_____ Мен Вячеслав Лінчжійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ Бородін В. І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці _____ к. т. н., доцент Ковтун І.М.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Додаток Д.2. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка	
1	A4				Завдання на дипломний проект	2		
2	A4	ДП 5115. 00.000 ПЗ			Пояснювальна записка	86		
3	A4	ДП 5115. 00.000			Д.1. Специфікація устаткування, виробів, матеріалів	11		
4	A4	ДП 5115. 00.000.00			Д.2. Відомість дипломного проекту	1		
5	A1	ДП 5115. 01.000 СхА			Схема автоматизації функціональна	1		
6	A1	ДП 5115. 02.000			Схема технологічних блокувань	1		

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Автоматизація процесу виробництва технічного вуглецю термічним розк-
ладанням

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
ім. І. Сікорського**

Інститут (факультет) Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мену Вячеславу Лінчжійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням,

керівник проекту Бородін Валерій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту система керування, що забезпечує задані часові показники якості процесу керування

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням; математичне моделювання циклонного реактору; синтез систем керування; розробка схеми автоматизації процесу; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням	1.04.2019	
2	Розробка схеми автоматизації	08.04.2019	
3	Отримання математичної моделі циклонного реактору	20.04.2019	
4	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	23.04.2019	
7	Охорона праці	25.04.2019	

Студент

(підпис)

Мен В. Л.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Бородін В. І.
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дипломний проект на тему "Автоматизація процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладання" містить пояснювальну записку об'ємом 97 сторінок. Вся інформація по даному виробництву викладена у п'ятих розділах.

У дипломному проекті детально описаний кінцевий продукт виробництва – технічний вуглець, класифікація різних хімічних елементів з карбону та різниця між ними, властивості, притаманні вуглецю. Далі наведена інформація про виробництво технічного вуглецю як бранч промисловості в цілому, та як окрема мануфактура.

Також дипломний проект містить математичне моделювання об'єкта – циклонного реактора: сформульовано закон керування, статичні та динамічні характеристики, рівняння за Лапласом та у формі Коші, передатні функції об'єкта та наведено перехідні характеристики.

Було охоплено синтез систем керування з різними регуляторами та їх настройками. Проведено знайомство із середовищем Simulink, а також надавальними конструйованими блоками для моделювання. Побудовано різні системи управління, досліджено їх та проведено порівняльний аналіз.

Наведено опис технологічної схеми виробництва технічного вуглецю: опис роботи системи, опис контурів, аварійний захист та систему технічних блокувань.

Ключові слова: технічний вуглець, сажа, технологічний процес, схема автоматизації, система керування, об'єкт керування, математична модель, циклонний реактор.

Annotation

The diploma paper on "Automation of the technological charcoal as a product of thermal decomposition manufacture process" contains an explanatory note of 97 pages. All information about the production is presented in five sections.

The diploma paper contains the details about the final product of production – technological charcoal, classification of different carbon chemical products and their differences, charcoal's properties. Furthermore the information about the technological charcoal manufacture as an industry branch and as a separate unit is presented.

Also, the diploma paper contains a mathematical model of the investigated object – cyclone reactor: the law of management, static and dynamic characteristics, Laplace and Koshi equations, transfer function are articulated and transient response is given.

The control systems synthesis with different controllers and their settings is covered. An acquaintance with the Simulink environment is held, as well as with its modeling construction blocks. Different control systems are built, their behavior research is conducted and analyzed.

Corresponding scheme is presented: workflow and circuits, emergency protection and technological locks description is provided.

Key words: technological charcoal, soot, technological process, automation circuit, control system, control object, mathematical model, cyclone reactor.

Зміст

Вступ.....	4
1. ПЕРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ	6
1.1. Технічний вуглець як продукт виробництва.....	6
1.2. Промисловість технічного вуглецю	11
1.3. Технолонгічний процес виробництва технічного вуглецюн	12
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛОННОГО РЕАКТОРА	15
2.1. Циклонний реактор як технолонгічний об'єкт керування	15
2.2. Опис циклонного реактору	17
2.3. Математична модель ТОК	19
2.4. Рівняння балансів	20
2.5. Лінеаризація рівнянь	24
2.6. Рівняння в формі Коші.	28
2.7. Визначення коефіцієнтів рівнянь	28
2.8. Перевірка керованості системи	30
2.9. Перетворення за Лапласом змінної часу	30
2.10. Передатні функції за каналами збурення і керування	31
2.11. Перехідні та імпульсні функції ТОК	32
3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЦИКЛОННИМ РЕАКТОРОМ	33
3.1. Огляд середовища Simulink	33
3.2. Синтез система з ПІ-регулятором.....	46
3.3. Синтез система з ПІД-регулятором	47
3.4. Синтез система з ПІ-регулятором за методом Ціглера-Нікольса ...	48
3.5. Синтез система з ПІД-регулятором за методом Ціглера-Нікольса.	50
3.6. Порівняльний аналіз розроблених систем керування	51

					ДП.5115.000.000 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб	Мен В.Л.				Автоматизація виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням	Лім.	Арк.	Аркуші
Перев	Бородін В.І							
Реценз						НТУУ "КПІ ім І.Сікорського", ІХФ, ЛА-51		
Н.Контр.								
Затв.	Жученко А.І							

4. ОПИС СХЕМИ ВИРОБНИНЦТВА ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ТЕРМІЧНИМ РОЗКЛАДНАННЯМ	57
4.1. Аналіз фізико-хімічних основ процесу з точки зору автоматичного контролю виробництва	57
4.2. Розробка схеми автоматизації	62
4.3. Постановка задачі до розробки схеми дистанційного керування і аварійного захисту електромоторів технолонгічного процесу.....	66
4.4. Опис роботи принципової електричної схеми з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технолонгічних блокувань.....	67
4.5. Опис роботи системи з аварійного захисту з електромоторів технолонгічного процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням	69
4.6. Опис роботи схеми технолонгічної сигналізації	70
4.7. Технолонгічні блокування	72
4.8. Опис роботи схеми технолонгічних блокувань	73
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	74
5.1. Шум	76
5.2. Виробниче освітлення	77
5.3. Повітря робочої зони	78
5.4. Електробезпека	80
5.5. Пожежна безпека	82
Висновки.....	84
Література.....	85
Додаток 1. Специфікація.....	87

Вступ

Ступень життя сучасної людини у значній мірі орієнтується розвитком сил фабрикації і виробництва.

Виробничі сили – це засоби виробництв, які використовують ці засоби для виготовлення продукції. Досить безбідне життя прогресивній людині забезпечила науко-технічна революція, яка стартувала в середині минулого століття і призвела до корінної зміни технічних засобів проєфективності на базі механізації та автоматизації.

Механізація виробництва – це підміна ручних засобів праці машинами і механізмами. «Сердцем» більшості пристроїв вважається двигун, на початку це була парова машина, пізніше електродвигун або ж двигок внутрішнього згоряня. Людина не містить важливої для цього точності і швидкості. І око людини (як ізмерительний прилад), і рука (як виконаучий орган) неідеальні. В наслідок цього другим кордоном становлення виробничих потужностей, не менше за необхідне ніж механізації, стала аутоматизація виробництва.

Аутоматизація виробництва – це широке застосування у виробничих процесах аутоматизованої апаратури, де аутоматип прийняли роль виконання функції керування та контролю.

Аутомат то є у загальних випадках реалізовує заданий закон керування. Коли функцію стабілізації або стеження буде реалізовати аутомат по собі.

Прикладами буде наведено:

- програмні системи: маніпуляторний робот, верстат, прально-сушова машина;
- стабілізуючи системи: стабілізатор напруги живлення, водіфйський автопілот «Тесли», кондиційонер;
- стежуючі системи: привід сонячної батарейки, радар-локатор.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		4

У загальному випадку як ілюстрацію автомату можна подати певну функціонувальну схему, що буде відображувати спільну ідею для вищеуказаних систем, та позначено:

- об'єкт керування: процес аж бо об'єкт, за мету автоматизації поставлено їм управління;
- керувальний регулювальний пристрій (регулятор): відповідно до закладеного закону керування пристрій впливає на керований об'єкт;
- виконавчий орган: виконує допоміжно команди керуючого пристрою до об'єкта;
- задатчик: маніпулювальний прилад, за допомогою керована величина може бути заданою до певного значення;
- датчик: призначення – вимірювання величина і сигнальна подача-передача, що придатна для обробки як значення.

Два існуючі варіанти САУ як приклад:

- а) розімкнена (не має зворотного зв'язку) – не здатна відповідати на змінення поточного значення управляємої величини;
- б) замкнена (зворотним зв'язок зворотнього сигналу) – буде спроможній скоригувати поведінку САУ, звіривши поточні значення з тим, що на задатчику.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. ПЕРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

1. 1. Технічний вуглець як продукт виробництва

Основні фізико-хімічні показники марок техвуглецю за ГОСТ наведені у таблиці 1.1. Вуглець є одним із перших хімічних елементів, який відомий людині. У вигляді деревного вугілля він застосовувався в давнину для виплавки металів. Здавна відомі алотропні модифікації вуглецю — алмаз і графіт.

Простими речовинами вуглецю (карбону) через його особливі хімічні властивості є кілька алотропних модифікацій із власними назвами, з яких найпоширенішими є: прозорий, дуже твердий алмаз; матово-чорний із металевим блиском, м'який графіт; мікропористе деревне вугілля; порошкоподібна сажа. І взагалі простої речовини під назвою вуглець не існує.

Аморфний вуглець — стан вуглецю з нерегульованою структурою — (сажа, кокс, деревне вугілля).

В основі будови аморфного вуглецю лежить розупорядкована структура монокристалічного графіту. Завжди містить домішки.

У природі не зустрічається. Його одержують штучно з різних сполук, що містять вуглець. Аморфний вуглець, або просто аморфне вугілля, насправді є кристалічним, але його кристалики такі малі, що їх не видно навіть у мікроскоп. Фізичні властивості «аморфного» вуглецю значною мірою залежать від дисперсності частинок та від наявності домішок.

Найважливішими технічними сортами аморфного вуглецю є сажа, технічний вуглець і деревне вугілля. Сажу являє собою найчистіший аморфний вуглець. У промисловості сажу одержують здебільшого термічним розкладом метану, а також при спалюванні різних органічних речовин при недостатньому доступі повітря. Сажу широко застосовують як наповнювач у виробництві гуми з каучуку, а також для виготовлення друкарських фарб, туші тощо.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		6

Са́жа або технічний вуглець — порошкоподібний залишок від неповного окиснення вуглецевмісних речовин.

Сажа складається переважно з аморфного вуглецю. Сажа — аморфний вуглець, продукт неповного згоряння чи термічного розкладання вуглеводнів в неконтрольованих умовах. У великих кількостях її використовують для приготування чорної фарби в поліграфічній і лакофарбовій промисловості. У Франції за часів Карла II виготовляли ваксу з використанням сажі.

Термін «сажа» іноді неточно застосовують для найменування вуглецевого продукту — технічного вуглецю, виробленого в промислових масштабах для наповнення гум та інших пластичних мас.

За способом виробництва сажі ділять на три групи: каналні, пічні та термічні.

Канальні (дифузійні) сажі отримують при неповному спалюванні природного газу або його суміші з маслом (наприклад, антраценовим) в так званих горілчаних камерах, обладнаних щілинними пальниками. Усередині камер розташовані охолоджувальні поверхні, на яких сажа осідає з дифузійного полум'я.

Пічні сажі отримують при неповному спалюванні масла, природного газу або їх суміші в факелі, створюваному спеціальним пристроєм в реакторах (печах). Сажа у вигляді аерозолі виноситься з реактора продуктами згоряння, і вловлюється спеціальними фільтрами.

Термічні сажі отримують в спеціальних реакторах при термічному розкладанні природного газу без доступу повітря. Термічна сажа входить в категорію частинок, небезпечних для легень, так як частинки менше п'яти мікрометрів в діаметрі не відфільтровуються у верхніх дихальних шляхах. Дим від дизельних двигунів, що складається в основному із сажі, вважається особливо небезпечним через те, що його частинки призводять до раку.

Лампова сажа. Сажа, що отримується при неповному згоранні багатого на ароматику палива, яке згорає на плоских подах печей. Характеризується широким розподілом за розмірами частинок.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		7

Сажу використовують як наповнювач для гуми й пластмас, пігмент для друкарської фарби, виробництва туші для малювання.

Технічний вуглєць — високодисперсний аморфний вуглець, який виробляють в промислових масштабах.

Іноді для означення технічного вуглецю застосовують термін «сажа», що є неточним, оскільки сажа (на відміну від терміна «технічний вуглець») описує вуглецеві продукти, отримані в неконтрольованих умовах, яким не властивий фіксований набір властивостей.

Частинки технічного вуглецю являють собою глобули, що складаються з деградованих графітових структур. Міжплощинна відстань між графітоподібними шарами становить 0,35—0,365 нм (для порівняння, в графіті 0,335 нм).

Розмір часток (13—120 нм) визначає «дисперсність» техвуглецю. Фізико-хімічним показником, що характеризує дисперсність, є питома поверхня. Поверхня частинок шорстка, за рахунок наповзаючих один на одного шарів. Мірою шорсткості служить співвідношення між показниками питомої поверхні техвуглецю і його йодним числом (оскільки йодне число визначає повну поверхню частинок з урахуванням шорсткостей).

Частинки в процесі отримання об'єднуються в «агрегати», що характеризуються структурною розгалуженістю — мірою якої служить показник абсорбції масла.

Агрегати злипаються в менш міцні утворення — «пластівці».

Крім атомів вуглецю в складі технічного вуглецю присутні атоми сірки, кисню та азоту.

Техвуглець має високорозвинену поверхню (5-150 м²/г), зі значною активністю. На поверхні — кінцеві групи (-COOH, -CHO, -OH, -C (O)-O-, -C (O)-), а також сорбовані залишки вуглеводнів. Їх кількість безпосередньо залежить від способу отримання та подальшої обробки вуглецевих частинок. Для отримання пігментів часто частинки техвуглецю піддають окислювальній обробці кислотами.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		8

Справжня густина частинок технічного вуглецю — $1,76-1,9 \text{ г / см}^3$.
Насипна густина пластівцевих структур техвуглецю становить $30-70 \text{ кг / м}^3$.
Для зручності транспортування і використання технічний вуглець гранулюють до густини $300-600 \text{ кг / м}^3$.

Існує декілька промислових способів отримання технічного вуглецю. В основі всіх лежить термічне (піроліз) або термоокиснювальне розкладання рідких або газоподібних вуглеводнів.

Пічний — безперервний процес, здійснюваний в закритих циліндричних проточних реакторах. Рідку вуглеводневу сировину впорскують механічними або пневматичними форсунками в потік газів повного згоряння палива (природний газ, дизельне паливо), причому витрати всіх матеріальних потоків підтримуються на заданому рівні. Отриману реакційну суміш для припинення реакцій газифікації охолоджують, уприскуючи в потік воду. Техвуглець виділяють з відпрацьованими газами і гранулюють;

Ламповий — безперервний процес, здійснюваний в спеціальних проточних реакторах. Рідку вуглеводневу сировину випаровують за рахунок підведення теплоти до чаші, в якій вона знаходиться. Пари сировини захоплюють у всередину реактора зовнішнє повітря через кільцевий зазор між прийомною парасолькою реактора і чашею для сировини. Матеріальні потоки контролюються лише частково. Реакційний канал в хвостовій частині реактора охолоджується через стінку водою. Техвуглець виділяють з відпрацьованими газами і упаковують;

Термічний — процес здійснюється в парних реакторах об'ємного типу, що працюють поперемінно. В один з реакторів подають газ (природний газ, ацетилен) в суміші з повітрям, який, згоряючи, нагріває футеровку реактора. У цей час у другій попередньо нагрітий реактор подають тільки газ (без повітря), в ході протікання реакції футеровка остигає, подачу газу переводять у підготовлений реактор, а остиглий розігрівають, як описано вище;

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		9

Канальний — періодичний процес, здійснюваний в спеціальних камерах періодичної дії, в підлозі яких встановлені щілинні (канальні) пальники. Полум'я згорає (природний газ) на виході з пальників стикається з охолоджуваном водою металевим жолобом, процес окиснення припиняється з виділенням техвуглецю, який збирається всередині камери. Отриманий продукт періодично вивантажують вручну.

Шляхом подрібнення твердого залишку піролізу природних вуглеводнів (вугілля, нафти). Для подрібнення використовують спеціальні методи, наприклад, струминні млини.

Технічний вуглець застосовується як зміцнюючий компонент у виробництві гум та інших пластичних мас. Близько 70 % всього виробленого техвуглецю використовується у виробництві автомобільних шин, ~ 20 % у виробництві гумово-технічних виробів. Інша кількість знаходить застосування як чорний пігмент; сповільнювач «старіння» пластмас; компонент, що додає пластмасам спеціальні властивості: (електропровідні, здатність поглинати ультрафіолетове випромінювання, випромінювання радарів).

Застосовуються дві класифікації технічного вуглецю — по ГОСТ 7885 РФ і за стандартом американського товариства випробування матеріалів ASTM D1765.

Відповідно до класифікації по ГОСТ встановлено 10 марок технічного вуглецю. В залежності від способу отримання (пічний, канальний, термічний) маркам присвоєні буквені індекси «П», «К», «Т». Наступний за буквеним цифровий індекс характеризує середній розмір частинок техвуглецю в цілих десятках нанометрів. Дві останні цифри індексу вибиралися при затвердженні марки.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		10

**Таблиця 1.1 – Основні фізико-хімічні показники марок техвуглецю
за ГОСТ**

Марка по ГОСТ 7885	Питома поверхня, $10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$	Йодне число, г/кг	Абсорбція масла, $10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$	Насипна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$
П245	119	121	103	330
П234	109	105	101	340
К354	150	—	—	—
П324	84	84	100	340
П514	—	43	101	340
П701	36	—	65	420
П702	37,5	—	70	400
П705	23	—	110	320
П803	16	—	83	320
Т900	14	—	—	—

1.2. Промисловість технічного вуглецю

Промисловість технічного вуглецю – галузь нафтохімічної промисловості, підприємства якої виробляють різні види технічного вуглецю.

Світове виробництво технічного вуглецю перевищує 7 млн. т в рік. Потужні виробництва технічного вуглецю експлуатуються в Україні (Кременчуцький та Стаханівський заводи).

На більшості виробництв у світі, в тому числі на вказаних заводах в Україні, технічний вуглець отримують шляхом термічного перетворення рідкої вуглеводневої сировини у високотемпературному потоці продуктів згоряння природного газу з нагрітим повітрям.

В Україні перший сажовий завод став до ладу 1946 року в Дашаві (Львівська область), другий – 1950 року в Кадіївці (м. Стаханов).

У 1965 році введено в дію Кременчуцький завод технічного вуглецю. На початку ХХІ ст. географія підприємств, які вимовляють технічний вуглець в

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		11

Україні (всього 15) більш широка: Київ, Кременчук, Луганськ, Дніпропетровськ, Стаханов, Павлоград, Тараща, Запоріжжя, Донецьк.

У період з 2014 по 2017 рр. для ринку технічного вуглецю було характерно вплив ряду негативних факторів. Одним з найбільших став конфлікт на сході країни, який призвів до того, що свою діяльність був змушений припинити один з виробників технічного вуглецю в Україні - Стахановський завод технічного вуглецю. Альтернативою отримання необхідного технічного вуглецю для основних його споживачів в ситуації, що склалася залишився імпорт або закупівля технічного вуглецю отриманого шляхом переробки. На сьогоднішній день переробка шин знаходиться в тіні.

1. 3. Технологічний процес виробництва технічного вуглецю

Процес призначено для одержання технічного вуглецю термічним розкладанням вуглеводнів в умовах неповного турбулентного горіння. Цільовим продуктом процесу є технічний вуглець – порошкоподібна речовина, що складається із субмікроскопічних вуглецевих частинок, близьких до сферичної форми (розміром від 9 до 600 нм), зв'язаних у більш-менш розгалужені ланцюжки (структури). Отримані таким чином марки технічного вуглецю застосовують переважно для виготовлення шин і гумових технічних виробів.

Установка складається з відділень підготовки сировини, реакторного, уловлювання, грануляції, складування продукції й утилізації відходів. У відділенні підготовки сировини виконуються операції приймання, зберігання, приготування робочих сумішей, їх зневоднення, очищення від механічних домішок, нагрівання до потрібної температури і введення присадок у сировину (апарати: відцентрові насоси, парові нагрівники, вологовипарник з піновідділювачем, піч і фільтр). У реакторному відділенні сировина розкладається у високотемпературному потоці продуктів згоряння з утворенням технічного вуглецю, а також відбувається охолодження сажогазової суміші (апарати: реактор, повітропідігрівник, колектор,

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		12

холодильник-зрошувач). У відділенні уловлювання виділяється технічний вуглець з газоподібних продуктів реакції (апарати: циклони, рукавні фільтри, калорифер, вентилятори). У відділенні грануляції технічний вуглець очищається від сторонніх вкраплень, ущільнюється та гранулюється (апарати: змішувач-гранулятор, сушильний барабан, елеватор, конвеєр, сепаратор).

Технологічну схему установки показано на рис. 1.1.

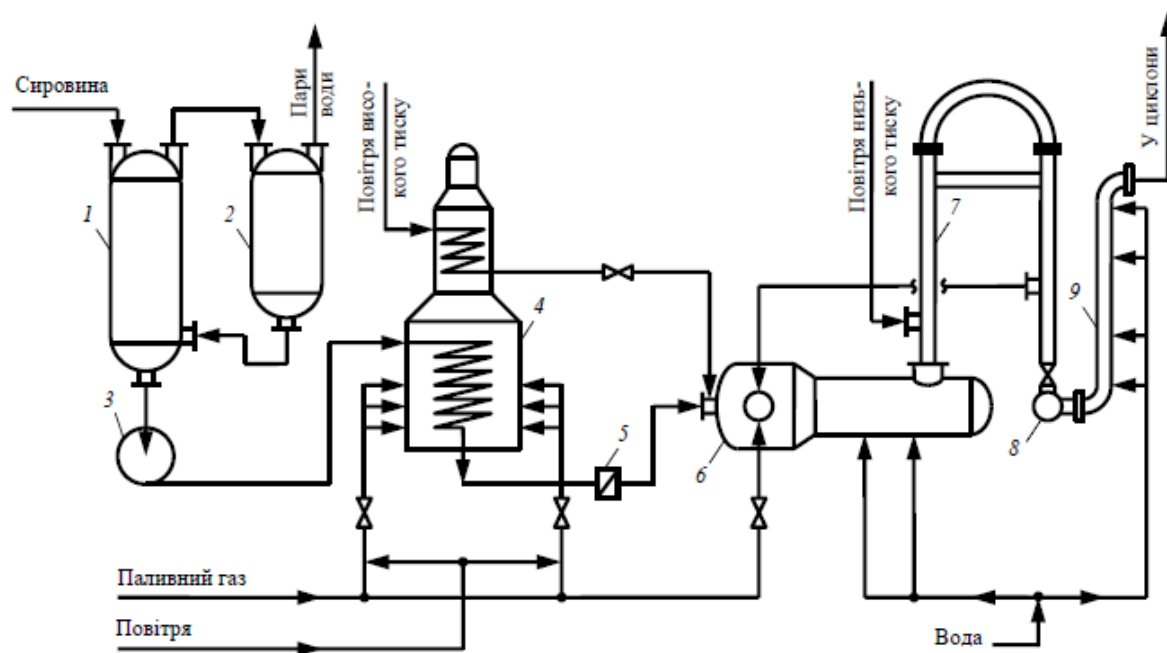


Рис 1.1. Технологічна схема для виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням: 1 – вологовипарник; 2 – піновіддільник; 3 – відцентрові насоси; 4 – підігрівник; 5 – фільтр; 6 – циклонний реактор; 7 – повітропідігрівник; 9 – холодильник; 10 – вентилятори

Підігріта до 80 °С сировина з резервуара зберігання відцентровим насосом подається в паровий підігрівник, де вона підігрівається до 100–120 °С. Далі сировина надходить у вологовипарник 1, з'єднаний з піновідділювачем 2, який сполучається з атмосферою. Пара води видаляється в атмосферу, а захоплена піною сировина періодично повертається у вологовипарник. Зневоднена сировина насосом 3 подається в безполумєний підігрівник 4 і, нагріта до 270–320 °С, проходить через фільтр тонкого очищення сировини

					ДП.5115.000.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			13

5. Підігріта й очищена сировина спрямовується до сировинних форсунок циклонного реактора 6.

На одному технологічному потоці зазвичай встановлено вісім циклонних реакторів продуктивністю до 500 кг/год за сировиною, з яких експлуатується 5–7 реакторів, решта – в резерві або ремонті. У разі використання реакторів потужністю до 1500 кг/год на потоці встановлюють три реактори, два з яких постійно функціонують.

Сировина кільцевим трубопроводом із відгалуженнями вводиться в кожен реактор, а її надлишок зворотним трубопроводом (на схемі не показано) повертається у вологовипарник 1. Для створення робочої температури в реактор 6 подають природний газ і заздалегідь підігріте у повітропідігрівнику 7 повітря на горіння. Упорскування сировини у високотемпературний потік продуктів згоряння палива спричиняє її термічне розкладання, внаслідок чого утворюється технічний вуглець (сажа). Процес сажоутворення триває частки секунди, і для запобігання виникненню вторинних процесів у відповідне по довжині реактора місце (залежно від марки одержуваного продукту) подається форсунками хімічно очищена вода. Охолоджена сажогазова суміш з реактора 6 через повітропідігрівник 7 колектором 8 (збирач для всіх реакторів потоку) надходить у холодильник-зрошувач 9.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
						14
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛОННОГО РЕАКТОРА

2.1. Циклонний реактор як технологічний об'єкт керування

Основним пристроєм для отримання сажі являється реактор або піч, в яких відбувається процес сажоутворення. Від конструкції цих пристроїв, головним чином залежать властивості і вихід сажі. На рис. 2.1 показані принципові конструкції різних реакторів для отримання сажі.

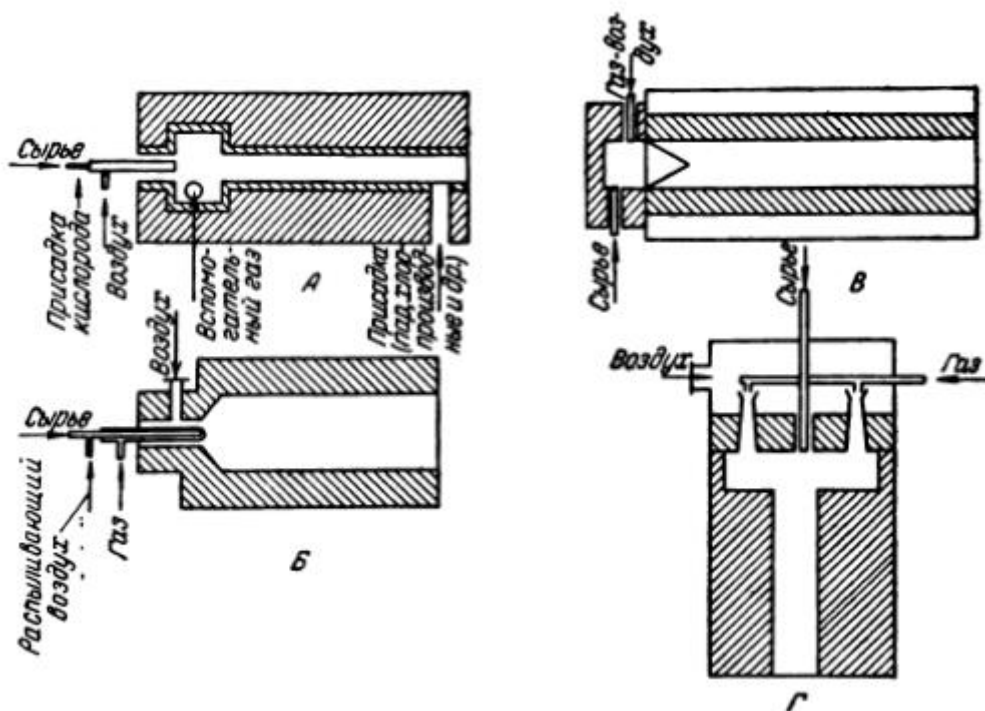


Рис 2.1 Реактори для отримання сажі: а) – циклонного типу з двома каперами; Б і В-циліндричного типу; Г-вертикального типу.

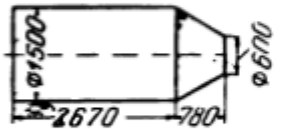
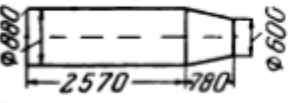

Процес утворення сажі в реакторах або печах протікає наступним чином. У реактор надходить розпорошену сировину, зазвичай підігріту. Розпилення сировини досягається або механічної форсункою - тиском самого сировини, або повітряної форсункою - стисненням повітрям.

Необхідна для термічного розкладання сировини температура створюється в результаті яких згоряння частини сировини, або спалювання в реакторі горючого газу.

Для розкладання сировини на вуглець і водень необхідно отримати в реакторі від 7000 до 10000 ккал тепла на 1 леЗпечі. Горючий газ, сировину і повітря в реакторі подають в декількох напрямках. В результаті цього створюються інтенсивні турбулентні потоки горючого газу і сировини. розкладання сировини відбувається в центральній частині цього турбулентного полум'я.

Зміною співвідношення між кількістю подаваного сировини, повітря і палива (при використанні палива для створення необхідної температури в реакторі) можна змінювати властивості одержуваної сажі. Так, наприклад, зі збільшенням кількості повітря при одному і тому ж витраті сировини підвищується температура, при якій відбувається процес, збільшується швидкість розкладання сировини, що тягне за собою отримання більш дисперсної сажі, але її вихід при цьому знижується.

Табл 2.1 Порівняльна характеристика реакторів та виготовлюємих у них саж (Кількість сировини, що надходить в реактор – 450 кг / год).

Конфигурация и основные размеры реакторов	Диаметр реакционной камеры, мм	Объем реакционного пространства, м ³	Удельный расход воздуха, м ³ /кг	Температура в реакционной зоне, °C	Скорость газов в реакторе, м/сек	Время пребывания сажегазовой смеси в реакторе, сек	Выход сажи, %	Удельная поверхность сажи, м ² /г	Адсорбция масла, см ³ /г	pH сажи
	1500	5,264	3,9	1325	2,09	1,42	26	73,1	1,18	5,69
	880	2,690	3,5	1325	5,53	0,8	30	71,7	1,07	7,40
	300	0,198	3,0	1490	45,1	0,063	42	63,5	0,89	8,57

З наведених у табл. 2.1 дані свідчать, що з зменшенням реакційного обсягу (при одному і тому ж кількості сировини, що надходить в реактор) значно знижується питома витрата повітря на 1 кг сировини (з 3,9 до 3,0 м³ / кг), різко зростає швидкість газів в реакторі (з 2,03 до 45, 1 м / сек) і

скорочується час перебування в ньому сажі-газової суміші (з 1,42 до 0,063 сек).

Зниження реакційного обсягу забезпечує істотне збільшення виходу сажі при практично одній і тій же її дисперсності. Скорочення часу перебування сажі-газової суміші в реакторі призводить до зниження ступеня структурованості сажі і шорсткості її поверхні.

Найбільш ефективними і універсальними реакторами для вогневого знешкодження промислових відходів є циклонні реактори. Їх переваги обумовлені головним чином аеродинамічними особливостями (вихровий структурою газового потоку), що забезпечують високу інтенсивність і стійкість процесу спалювання палива з дуже малими тепловими втратами при мінімальних надлишках повітря, а також найбільш сприятливими умовами тепло- і масообміну між газовим середовищем і краплями (частками) відходу, внаслідок великих відносних швидкостей і високого ступеня турбулентності. Все це дозволяє створювати малогабаритні реактори з питомими навантаженнями, в десятки разів перевищують навантаження барабанних многоподових, шахтних і інших печей.

Невеликі габарити циклонних реакторів і ефективна відцентрова сепарація дозволяють використовувати гарніссажну футеровку замість цегляної. Це дає можливість, по-перше, знешкоджувати сильно мінералізовані відходи з улавливанням переважної кількості (80-90%) мінеральних речовин і випуском їх з реактора у вигляді розплаву і, по-друге, котрі три-валій час експлуатувати реактор без істотного збільшення тепло-врат в навколишнє середовище.

2.2. Опис циклонного реактору

У пальниковий пристрій 4 циклонного реактора подають паливо і повітря. горіння палива завершується до нижнього основи конічного насадка 3, т. е. до перетину, що відстоїть від пояса горілчаних устройств на відстані 0,4 внутрішнього діаметра циклонного реактора. У високо-температурні

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17

продукти згоряння палива вводять рідкі виробничі відходи пристосуваннями 5, розташованими в нижньому підставі коніч-ського насадка.

Краплі води випаровуються, органічні і елементоорганіческіе складові розкладаються і окислюються з утворенням CO_2 , H_2O , SO_2 , HCl , а мінеральні складові плавляться, сепаруються на стінках вертикальної циліндричної камери 1 і випускаються у вигляді розплаву через річку 9. Утворені при вогневому знешкодженні елементоорганіческіх речовин агресивні гази повністю нейтралізуються лужними реагентами, що подіється в форсунки 6. У димових газах відсутні продукти неповного горіння і кислі гази.

Розміщення розпилюють пристосувань в нижній частині насадка дозволяє здійснити високоінтенсивне і стійке займання і горіння палива і практично виключити потрапляння розпорошених крапель рідких відходів на бічну поверхню, і, отже, підвищити повноту процесу вогневого знешкодження рідких відходів.

Розташування форсунок для подачі нейтралізує присадки на бічній поверхні в перерізі, віддаленому від пальників на відстані не менше 0,4 внутрішнього діаметра циклонного реактора, дозволяє здійснити з високою інтенсивністю процес випаровування присадочного розчину і

5 ефективну нейтралізацію токсичних газів і парів в межах робочого об'єму циклонного реактора.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		18

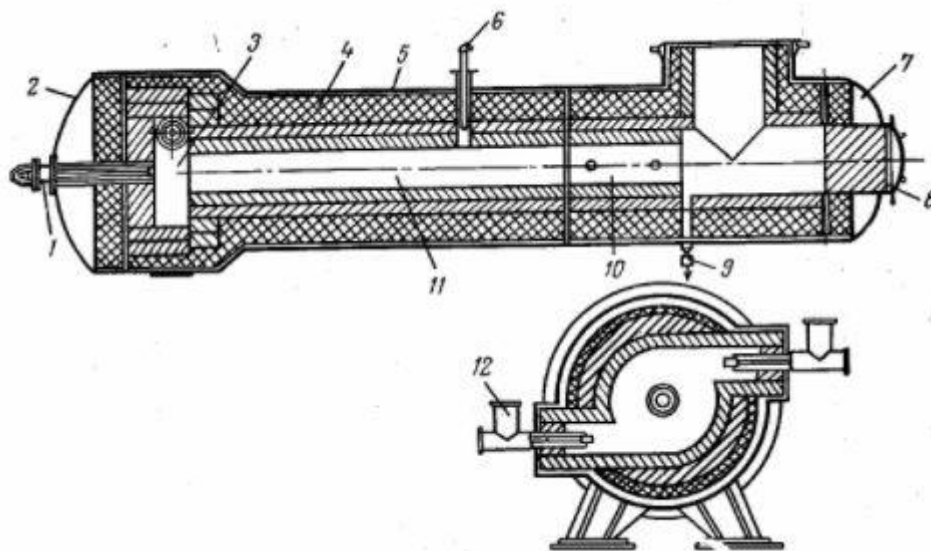


Рис. 2.2. Реактор циклонного типу: 1 – сировинна форсунка, 2 – переднє днище, 3 – зона горіння, 4 – футеровка, 5 – кожух, 6 – пристрій для вимірювання температури, 7 – заднє днище, 8 – люк, 9 – патрубок для стоку води, 10 – зона охолодження суміші, 11 – реакційна зона, 12 – нагрівач для спалювання сажі

2.3. Математична модель ТОК

Регульованим параметром приймемо концентрацію вуглецю в суміші на виході з реактору ($x_{\text{сум}}$).

Керуючою дією обираємо витрату сировини та паливного газу $F_{\text{сир}}, F_{\text{п.г.}}$.

За основне збурення приймемо температуру сировини $\theta_{\text{сир}}$.

Проміжним параметром є температура суміші на виході з реактору ($\theta_{\text{сум}}$).

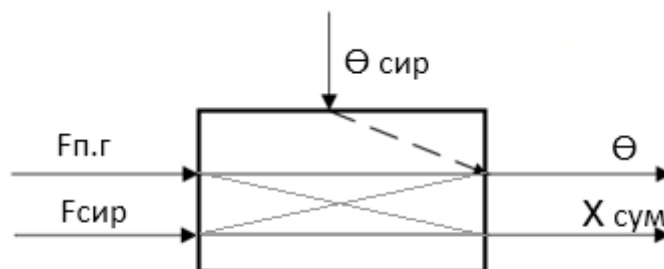


Рис. 2.3. Параметрична схема циклонного реактору

2.4. Рівняння балансів

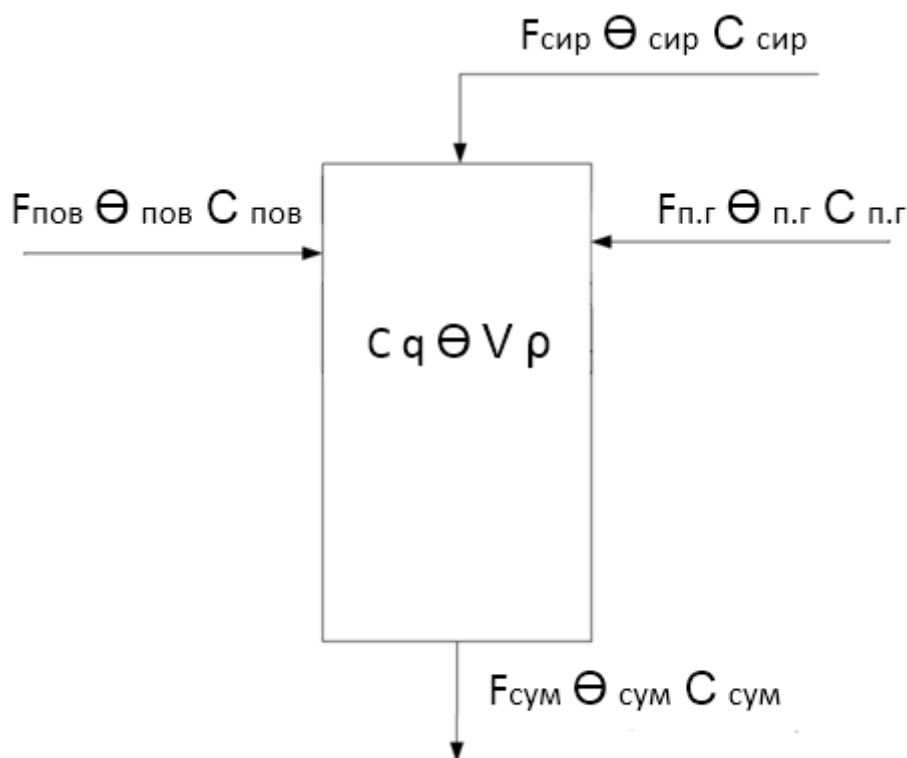


Рис. 2.4. Розрахункова схема циклонного реактору

$F_{\text{сир}}$ – витрата сировини на вході в реактор;

$F_{\text{пов}}$ – витрата повітря на вході в реактор;

$F_{\text{п.г.}}$ – витрата паливного газу на вході в реактор;

$F_{\text{сум}}$ – витрата суміші на виході з реактору;

$C_{\text{сир}}$ – теплоємність сировини на вході в реактор;

$C_{\text{пов}}$ – теплоємність повітря на вході в реактор;

$C_{\text{п.г.}}$ – теплоємність паливного газу на вході в реактор;

$C_{\text{сум}}$ – теплоємність суміші на виході з реактору;

$\Theta_{\text{сир}}$ – температура сировини на вході в реактор;

$\Theta_{\text{пов}}$ – температура повітря на вході в реактор;

$\Theta_{\text{п.г.}}$ – температура паливного газу на вході в реактор;

$\Theta_{\text{сум}}$ – температура суміші на виході з реактору;

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

$\theta_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища;

$x_{сир}$ – концентрація вуглецю в сировині;

$x_{сум}$ – концентрація вуглецю в суміші;

V – об'єм;

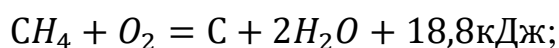
ρ – густина;

q – кількість енергії у результаті реакції;

R – універсальна газова стала.

При моделюванні статичного та динамічного режимів, приймаємо наступні припущення:

- реакційний об'єм повного перемішування;
- швидкість реакції першого порядку;
- на хід реакції концентрація та температура не впливають;
- формула реакції у реакторі



- відсутні втрати на навколишнє середовище;

Таблиця 2.2 – Основні параметри статичного режиму

№ п/п	Назва параметру	Позначення	Одиниці вимірювання	Числові значення
11	витрата сировини на вході в реактор;	$F_{сир}$	м3/год	600
22	витрата повітря на вході в реактор;	$F_{пов}$	м3/год	1264
33	витрата паливного газу на вході в реактор;	$F_{п.г.}$	м3/год	264
44	витрата суміші на виході з реактору;	$F_{сум}$	м3/год	2128

55	теплоємність сировини на вході в реактор;	$C_{\text{сир}}$	кДж/кг*К	4,15
66	теплоємність повітря на вході в реактор;	$C_{\text{пов}}$	кДж/кг*К	1,03
77	теплоємність паливного газу на вході в реактор;	$C_{\text{п.г.}}$	кДж/кг*К	4,3
88	теплоємність суміші на виході з реактору;	$C_{\text{сум}}$	кДж/кг*К	3,7
99	температура сировини на вході в реактор;	$\theta_{\text{сир}}$	К	593
110	температура повітря на вході в реактор;	$\theta_{\text{пов}}$	К	573
111	температура паливного газу на вході в реактор;	$\theta_{\text{п.г.}}$	К	323
112	температура суміші на виході з реактору;	$\theta_{\text{сум}}$	К	1823
113	температура навколишнього середовища;	$\theta_{\text{н.с.}}$	К	293
114	концентрація вуглецю в сировині;	$x_{\text{сир}}$	-	0,02
115	концентрація вуглецю в суміші;	$x_{\text{сум}}$	-	0,96
116	об'єм;	V	м3	1,98
117	густина;	ρ	кг/м3	1,97
118	кількість енергії у результаті реакції;	q	кК	18,8
119	універсальна газова стала.	R	Дж/моль*К	8,31

Рівняння матеріального балансу

$$F_{\text{сум}} = F_{\text{сир}} + F_{\text{пов}} + F_{\text{п.г.}}$$

$$F_{\text{сум}} = F_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}} = F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}} = 2128$$

Рівняння статичного режиму балансу по компоненту

$$F_{\text{сир}}x_{\text{сир}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})x_{\text{сум}} - Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} = 0 \quad (2.1)$$

Рівняння статичного режиму балансу по температурі

відсутні втрати на навколишнє середовище:

$$F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}}C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}}C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} + Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}} = 0 \quad (2.2)$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}}C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}}C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} - KS(\theta_{\text{сум}} - \theta_{\text{н.с.}}) + Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}} = 0 \quad (2.3)$$

Рівняння динамічного режиму балансу по компоненту

$$F_{\text{сир}}x_{\text{сир}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})x_{\text{сум}} - Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} = Vp \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} \quad (2.4)$$

Рівняння динамічного режиму балансу реактору окиснення аміаку по температурі:

відсутні втрати на навколишнє середовище:

$$F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}}C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}}C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} + Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}} = VpC_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt} \quad (2.5)$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}}C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}}C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} - KS(\theta_{\text{сум}} - \theta_{\text{н.с.}}) + Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}} = VpC_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt} \quad (2.6)$$

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		23

Отримаємо систему рівнянь:

відсутні втрати на навколишнє середовище:

$$F_{\text{сир}}x_{\text{сир}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})x_{\text{сум}} - Vp x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} = Vp \frac{dx_{\text{сум}}}{dt}$$

$$F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}}C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}}C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} + Vp x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}} = Vp C_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt}, (7)$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$F_{\text{сир}}x_{\text{сир}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})x_{\text{сум}} - Vp x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} = Vp \frac{dx_{\text{сум}}}{dt}$$

$$F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + F_{\text{п.г.}}C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + 2,1F_{\text{сир}}C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} - KS(\theta_{\text{сум}} - \theta_{\text{н.с.}}) + Vp x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) - (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}} = Vp C_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt}, (8)$$

2.5. Лінеаризація рівнянь

Система диференціальних рівнянь є нелінійною. Така математична модель дає опис системи, але вона не придатна для подальшого аналізу й використання. Для отримання лінійної диференціальної системи, лінеаризуємо систему нелінійних диференціальних рівнянь в точках основного статичного режиму.

Для отримання рівнянь у відхиленнях (лінеаризованих) приймаємо:

$$F_{\text{сир}} = F_{\text{сир}0} + \Delta F_{\text{сир}}$$

$$F_{\text{п.г.}} = F_{\text{п.г}0} + \Delta F_{\text{п.г.}}$$

$$x_{\text{сум}} = x_{\text{сум}0} + \Delta x_{\text{сум}}$$

$$\theta_{\text{сум}} = \theta_{\text{сум}0} + \Delta \theta_{\text{сум}}$$

$$\theta_{\text{сир}} = \theta_{\text{сир}0} + \Delta \theta_{\text{сир}}$$

В результаті отримаємо:

відсутні втрати на навколишнє середовище:

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\begin{aligned}
& \Delta F_{\text{сир}} x_{\text{сир}} - 3,1 \Delta F_{\text{сир}} x_{\text{сум}} - \Delta F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) \Delta x_{\text{сум}} \\
& - \Delta \theta_{\text{сум}} \frac{V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}}}{R \theta_{\text{сум}}^2} - V p \Delta x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} = V p \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} \\
& \Delta F_{\text{сир}} C_{\text{сир}} \theta_{\text{сир}} + F_{\text{сир}} C_{\text{сир}} \Delta \theta_{\text{сир}} + \Delta F_{\text{п.г.}} C_{\text{п.г.}} \theta_{\text{п.г.}} + 2,1 \Delta F_{\text{сир}} C_{\text{пов}} \theta_{\text{пов}} + \\
& V p \Delta x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) + \Delta \theta_{\text{сум}} \frac{V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) E}{R \theta_{\text{сум}}^2} + \\
& 3,1 \Delta F_{\text{сир}} V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q + \Delta F_{\text{п.г.}} V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q - \Delta F_{\text{п.г.}} C_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}} - \\
& 3,1 \Delta F_{\text{сир}} C_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) C_{\text{сум}} \Delta \theta_{\text{сум}} = V p C_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt}, (9)
\end{aligned}$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$\begin{aligned}
& \Delta F_{\text{сир}} x_{\text{сир}} - 3,1 \Delta F_{\text{сир}} x_{\text{сум}} - \Delta F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) \Delta x_{\text{сум}} \\
& - \Delta \theta_{\text{сум}} \frac{V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}}}{R \theta_{\text{сум}}^2} - V p \Delta x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} = V p \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} \\
& \Delta F_{\text{сир}} C_{\text{сир}} \theta_{\text{сир}} + F_{\text{сир}} C_{\text{сир}} \Delta \theta_{\text{сир}} + \Delta F_{\text{п.г.}} C_{\text{п.г.}} \theta_{\text{п.г.}} + 2,1 \Delta F_{\text{сир}} C_{\text{пов}} \theta_{\text{пов}} - K S \Delta \theta_{\text{сум}} \\
& - K S \theta_{\text{н.с.}} + V p \Delta x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) \\
& + \Delta \theta_{\text{сум}} \frac{V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) E}{R \theta_{\text{сум}}^2} \\
& + 3,1 \Delta F_{\text{сир}} V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q + \Delta F_{\text{п.г.}} V p x_{\text{сум}} A e^{-\frac{E}{R \theta_{\text{сум}}}} q \\
& - \Delta F_{\text{п.г.}} C_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}} - 3,1 \Delta F_{\text{сир}} C_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}} - (F_{\text{п.г.}} + 3,1 F_{\text{сир}}) C_{\text{сум}} \Delta \theta_{\text{сум}} \\
& = V p C_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt}
\end{aligned}$$

,(10)

Зведемо подібні доданки:

відсутні втрати на навколишнє середовище:

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$\begin{aligned}
Vp \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} + \left(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}} + VpAe^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} \right) \Delta x_{\text{сум}} \\
= \Delta \theta_{\text{сум}} \frac{Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}}{R\theta_{\text{сум}}^2} + \Delta F_{\text{сир}}(x_{\text{сир}} - 3,1x_{\text{сум}}) - \Delta F_{\text{п.г.}}x_{\text{сум}} \\
\Delta \theta_{\text{сум}} \left(-\frac{Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})E}{R\theta_{\text{сум}}^2} + (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}} \right) + \\
VpC_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt} = \Delta F_{\text{сир}}(C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + 2,1C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} + 3,1Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q - \\
3,1C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}}) + \Delta F_{\text{п.г.}}(C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q - C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}}) + KS\theta_{\text{н.с.}} + \\
Vp\Delta x_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) + \Delta \theta_{\text{сир}}F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}, (11)
\end{aligned}$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$\begin{aligned}
Vp \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} + \left(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}} + VpAe^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} \right) \Delta x_{\text{сум}} \\
= \Delta \theta_{\text{сум}} \frac{Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}}{R\theta_{\text{сум}}^2} + \Delta F_{\text{сир}}(x_{\text{сир}} - 3,1x_{\text{сум}}) - \Delta F_{\text{п.г.}}x_{\text{сум}} \\
\Delta \theta_{\text{сум}} \left(KS - \frac{Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})E}{R\theta_{\text{сум}}^2} + (F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})C_{\text{сум}} \right) + \\
VpC_{\text{сум}} \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt} = \Delta F_{\text{сир}}(C_{\text{сир}}\theta_{\text{сир}} + 2,1C_{\text{пов}}\theta_{\text{пов}} + 3,1Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q - \\
3,1C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}}) + \Delta F_{\text{п.г.}}(C_{\text{п.г.}}\theta_{\text{п.г.}} + Vpx_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q - C_{\text{сум}}\theta_{\text{сум}}) + KS\theta_{\text{н.с.}} + \\
Vp\Delta x_{\text{сум}}Ae^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}}) + \Delta \theta_{\text{сир}}F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}, (12)
\end{aligned}$$

Введемо наступні позначення:

$$\begin{aligned}
Y_1 &= F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}} + VpAe^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}} \\
T_1 &= \frac{Vp}{Y_1}
\end{aligned}$$

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$K_{F_{п.г.} x_{сум}} = \frac{x_{сум}}{Y_1}$$

$$K_{F_{сир} x_{сум}} = \frac{x_{сир} - 3,1x_{сум}}{Y_1}$$

$$K_{\theta_{сум} x_{сум}} = \frac{Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} E}{Y_1 R \theta_{сум}^2}$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$Y_2 = KS - \frac{Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q (F_{п.г.} + 3,1F_{сир}) E}{R \theta_{сум}^2} + (F_{п.г.} + 3,1F_{сир}) C_{сум}$$

$$T_2 = \frac{Vp C_{сум}}{Y_2}$$

$$K_{F_{п.г.} \theta_{сум}} = \frac{C_{п.г.} \theta_{п.г.} + Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q - C_{сум} \theta_{сум}}{Y_2}$$

$$K_{F_{сир} \theta_{сум}} = \frac{(C_{сир} \theta_{сир} + 2,1C_{пов} \theta_{пов} + 3,1Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q - 3,1C_{сум} \theta_{сум})}{Y_2}$$

$$K_{x_{сум} \theta_{сум}} = \frac{Vp A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q (F_{п.г.} + 3,1F_{сир})}{Y_2}$$

$$K_{\theta_{сир} \theta_{сум}} = \frac{F_{сир} C_{сир}}{Y_2}$$

відсутні втрати на навколишнє середовище:

$$Y_2 = - \frac{Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q (F_{п.г.} + 3,1F_{сир}) E}{R \theta_{сум}^2} + (F_{п.г.} + 3,1F_{сир}) C_{сум}$$

$$T_2 = \frac{Vp C_{сум}}{Y_2}$$

$$K_{F_{п.г.} \theta_{сум}} = \frac{C_{п.г.} \theta_{п.г.} + Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q - C_{сум} \theta_{сум}}{Y_2}$$

$$K_{F_{сир} \theta_{сум}} = \frac{(C_{сир} \theta_{сир} + 2,1C_{пов} \theta_{пов} + 3,1Vp x_{сум} A e^{-\frac{E}{R\theta_{сум}}} q - 3,1C_{сум} \theta_{сум})}{Y_2}$$

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
						27
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} = \frac{VpAe^{-\frac{E}{R\theta_{\text{сум}}}}q(F_{\text{п.г.}} + 3,1F_{\text{сир}})}{Y_2}$$

$$K_{\theta_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} = \frac{F_{\text{сир}}C_{\text{сир}}}{Y_2}$$

2.6.Рівняння в формі Коші.

відсутні втрати на навколишнє середовище:

$$T_1 \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} + \Delta x_{\text{сум}} = \Delta \theta_{\text{сум}} K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}} + \Delta F_{\text{сир}} K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} - \Delta F_{\text{п.г.}} K_{F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}}}$$

$$\Delta \theta_{\text{сум}} + T_2 \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt} = \Delta F_{\text{сир}} K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} + \Delta F_{\text{п.г.}} K_{F_{\text{п.г.}} \theta_{\text{сум}}} + \Delta x_{\text{сум}} K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} +$$

$$\Delta \theta_{\text{сир}} K_{\theta_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}}, (13)$$

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$T_1 \frac{dx_{\text{сум}}}{dt} + \Delta x_{\text{сум}} = \Delta \theta_{\text{сум}} K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}} + \Delta F_{\text{сир}} K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} - \Delta F_{\text{п.г.}} K_{F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}}}$$

$$\Delta \theta_{\text{сум}} + T_2 \frac{d\theta_{\text{сум}}}{dt} = \Delta F_{\text{сир}} K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} + \Delta F_{\text{п.г.}} K_{F_{\text{п.г.}} \theta_{\text{сум}}} + \Delta x_{\text{сум}} K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} + \Delta \theta_{\text{сир}} K_{\theta_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}}$$

,(14)

2.7. Визначення коефіцієнтів рівнянь

Звернемо увагу на розмірність коефіцієнтів

$$Y_1 = \left[\frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \right] + \left[\frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \right] + [\text{м}^3] \left[\frac{\text{КГ}}{\text{м}^3} \right] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{КГ} * \text{ГОД}} \right] e^{-\frac{\left[\frac{\text{МОЛЬ}}{\text{ДЖ}} \right]}{\left[\frac{\text{ДЖ}}{\text{МОЛЬ} * \text{К}} \right] [\text{К}]}]} = \left[\frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \right]$$

$$T_1 = \frac{[\text{м}^3] \left[\frac{\text{КГ}}{\text{м}^3} \right]}{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \right]} = \left[\frac{\text{КГ} * \text{ГОД}}{\text{м}^3} \right]$$

$$K_{F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}}} = \frac{1}{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \right]} = \left[\frac{\text{ГОД}}{\text{м}^3} \right]$$

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$K_{F_{\text{сир}} \text{ } x_{\text{сум}}} = \frac{1}{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right]} = \left[\frac{\text{год}}{\text{м}^3} \right]$$

$$K_{\theta_{\text{сум}} \text{ } x_{\text{сум}}} = \frac{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг} * \text{год}} \right] e^{-\frac{\left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]}{\left[\frac{\text{дж}}{\text{моль} * \text{К}} \right] [\text{К}]} \left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]} = \left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]^2 \frac{1}{[\text{К}]}$$

$$Y_2 = \left[\frac{\text{дж} * \text{м}}{\text{кг} * \text{К} * \text{год}} \right] [\text{м}^2] - \frac{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг} * \text{год}} \right] e^{-\frac{\left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]}{\left[\frac{\text{дж}}{\text{моль} * \text{К}} \right] [\text{К}]} [\text{дж}] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]}{\left[\frac{\text{дж}}{\text{моль} * \text{К}} \right] [\text{К}]^2} + \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right] = \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} * \frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right]$$

$$T_2 = \frac{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right]}{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} * \frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right]} = \left[\frac{\text{кг} * \text{год}}{\text{м}^3} \right]$$

$$K_{F_{\text{п.г.}} \text{ } \theta_{\text{сум}}} = \frac{\left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right] [\text{К}] + \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг} * \text{год}} \right] e^{-\frac{\left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]}{\left[\frac{\text{дж}}{\text{моль} * \text{К}} \right] [\text{К}]} [\text{дж}]} - \left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right] [\text{К}]}{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} * \frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right]} = \left[\frac{\text{К} * \text{год}}{\text{м}^3} \right]$$

$$K_{F_{\text{сир}} \text{ } \theta_{\text{сум}}}$$

$$= \frac{\left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right] [\text{К}] + \left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right] [\text{К}] + \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг} * \text{год}} \right] e^{-\frac{\left[\frac{\text{моль}}{\text{дж}} \right]}{\left[\frac{\text{дж}}{\text{моль} * \text{К}} \right] [\text{К}]} [\text{дж}]} - \left[\frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right] [\text{К}]}{\left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} * \frac{\text{дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right]} = \left[\frac{\text{К} * \text{год}}{\text{м}^3} \right]$$

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} = \frac{\left[\frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \right] \left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right] \left[\frac{\text{М}^3}{\text{КГ} * \text{ГОД}} \right] e^{-\frac{\left[\frac{\text{МОЛЬ}}{\text{ДЖ}} \right] \left[\frac{\text{ДЖ}}{\text{МОЛЬ} * \text{К}} \right] [\text{К}] [\text{ДЖ}] \left[\frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \right]}}{\left[\frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} * \frac{\text{ДЖ}}{\text{КГ} * \text{К}} \right]} = \left[\frac{\text{М}^3 * \text{КГ} * \text{К}}{\text{ГОД}} \right]$$

$$K_{\theta_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} = \frac{\left[\frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \right] \left[\frac{\text{ДЖ}}{\text{КГ} * \text{К}} \right]}{\left[\frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} * \frac{\text{ДЖ}}{\text{КГ} * \text{К}} \right]} = [\quad]$$

2.8.Перевірка керованості системи

Теорема Калмана

Складемо матриці А та В

$$A = \begin{pmatrix} T_1 + 1 & K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}} \\ -K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} & T_2 + 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} \\ K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} \end{pmatrix}$$

$$A * B = \begin{pmatrix} K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} (T_1 + 1 + K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}}) \\ K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} (T_2 + 1 - K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}}) \end{pmatrix}$$

$$K = [B \ A * B]$$

$$K = \begin{pmatrix} K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} & K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} (T_1 + 1 + K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}}) \\ K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} & K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} (T_2 + 1 - K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}}) \end{pmatrix}$$

$$K := \begin{pmatrix} -3.799 \times 10^{-6} & -0.0000038476546636973883748975 \\ -0.02 & -0.022651954087324150060476 \end{pmatrix} \text{float}, 2 \rightarrow \begin{pmatrix} -0.0000038 & -0.0000038 \\ -0.02 & -0.023 \end{pmatrix}$$

$$\text{rank}(K) = 2$$

2.9.Перетворення за Лапласом змінної часу

Для подання системи відповідними передатними функціями треба диференціальне рівняння записати в операційній формі: тобто після

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		30

перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow s$ при нульових початкових умовах:

$$\Delta x_{\text{сум}} \rightarrow x_{\text{сум}}(p);$$

$$\Delta \theta_{\text{сум}} \rightarrow \theta_{\text{сум}}(p);$$

$$\Delta F_{\text{сир}} \rightarrow F_{\text{сир}}(p);$$

$$\Delta F_{\text{п.г.}} \rightarrow F_{\text{п.г.}}(p);$$

$$\Delta \theta_{\text{сум}} \rightarrow \theta_{\text{сум}}(p);$$

відсутні втрати на навколишнє середовище:

$$\begin{aligned} (T_1 p + 1)x_{\text{сум}}(p) &= \theta_{\text{сум}}(p)K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}} + F_{\text{сир}}(p)K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} - F_{\text{п.г.}}(p)K_{F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}}} \\ &\quad \theta_{\text{сум}}(p)(1 + T_2 p) \\ &= F_{\text{сир}}(p)K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} + F_{\text{п.г.}}(p)K_{F_{\text{п.г.}} \theta_{\text{сум}}} + x_{\text{сум}}(p)K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} \\ &\quad + \theta_{\text{сир}}(p)K_{\theta_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} \end{aligned}$$

,(15)

присутні втрати на навколишнє середовище:

$$\begin{aligned} (T_1 p + 1)x_{\text{сум}}(p) &= \theta_{\text{сум}}(p)K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}} + F_{\text{сир}}(p)K_{F_{\text{сир}} x_{\text{сум}}} - F_{\text{п.г.}}(p)K_{F_{\text{п.г.}} x_{\text{сум}}} \\ &\quad \theta_{\text{сум}}(p)(1 + T_2 p) \\ &= F_{\text{сир}}(p)K_{F_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} + F_{\text{п.г.}}(p)K_{F_{\text{п.г.}} \theta_{\text{сум}}} + x_{\text{сум}}(p)K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}} \\ &\quad + \theta_{\text{сир}}(p)K_{\theta_{\text{сир}} \theta_{\text{сум}}} \end{aligned}$$

,(16)

2.10. Передатні функції за каналами збурення і керування

Отже передатна функція за каналом керування «витрата паливних газів → концентрація вуглецю у суміші» :

$$W_{\text{ker}}(p) = \frac{-K_{F_{\text{п.г.}} \theta_{\text{сум}}}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + K_{\theta_{\text{сум}} x_{\text{сум}}} K_{x_{\text{сум}} \theta_{\text{сум}}}}$$

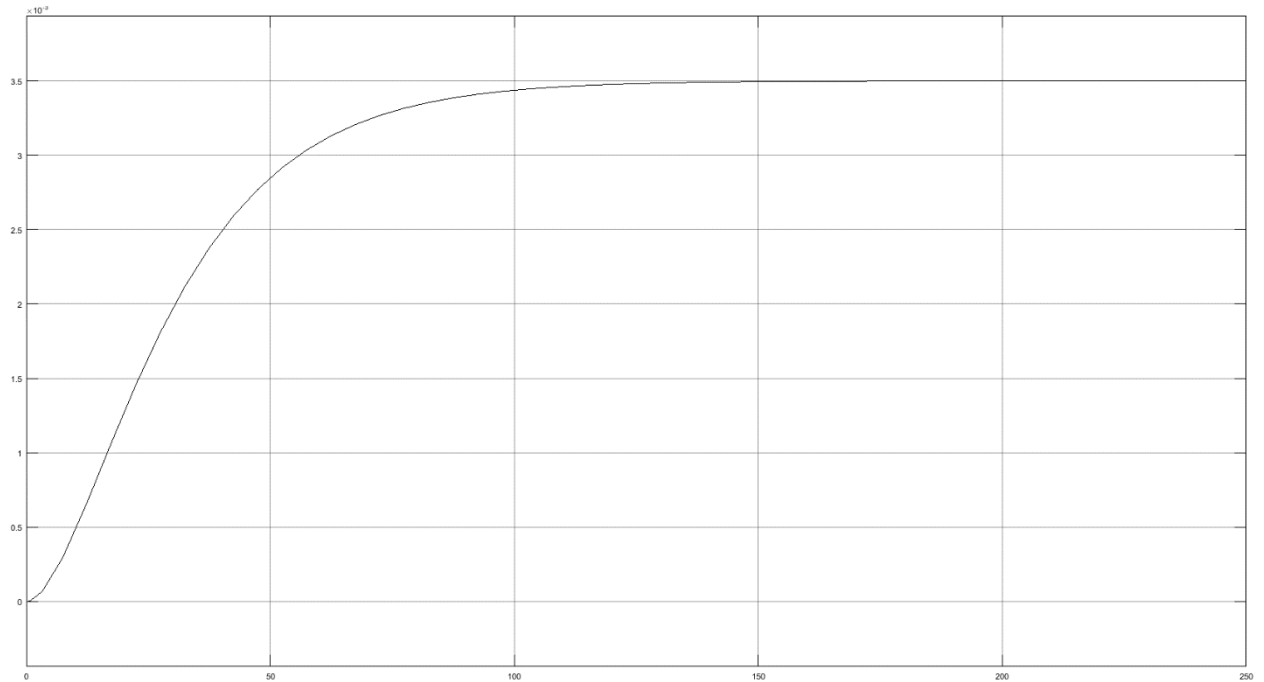
Передатна функція за каналом збурення «витрата сировини → концентрація вуглецю у суміші»

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		31

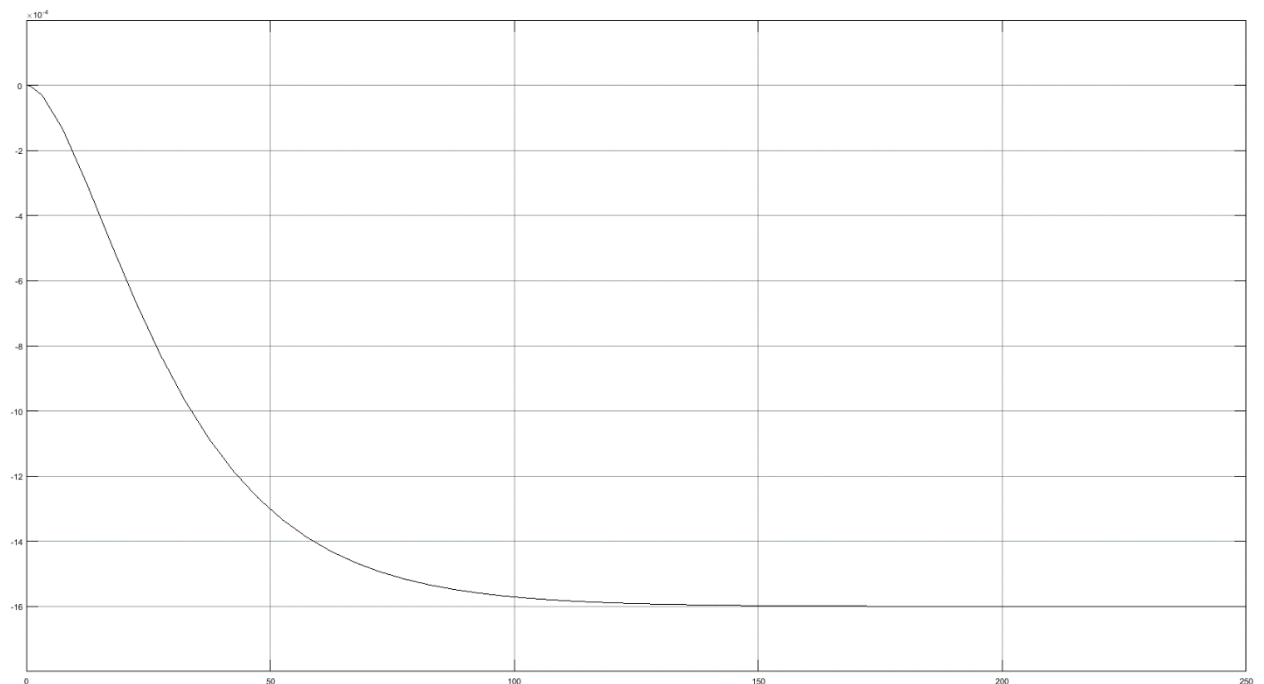
$$W_{zb}(p) = \frac{K_{F_{\text{сир}}} \theta_{\text{сум}}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + K_{\theta_{\text{сум}}} K_{x_{\text{сум}}} \theta_{\text{сум}}}$$

2.11. Перехідні та імпульсні функції ТОК

$$W = 0.0035 / 237.86 * p * p + 32.29 * p + 1$$



$$W = -0.0061 / 237.86 * p * p + 32.29 * p + 1$$



3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЦИКЛОННИМ РЕАКТОРОМ

3.1. Огляд середовища Simulink

Simulink - це графічне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє при підтримці блок-діаграм у вигляді націлених графів, зводити динамічні моделі, охоплюючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи.

Інтерактивне середовище Simulink, дозволяє застосувати вже готові бібліотеки блоків для моделювання електросилових, механічних і гідравлічних систем, а ще використовувати розвинений модельно-орієнтований розклад при розробці систем управління, засобів цифрового зв'язку і приладів реального часу.

Допоміжні пакети розширення Simulink дають можливість вирішувати цілий спектр завдань від розробки концепції моделі до випробування, випробування, генерації коду і апаратної реалізації. Simulink включений в середу MATLAB, власне що дозволять застосувати інтегровані математичні методи, масивні способи обробки даних і наукову графіком.

Для симуляції системі керування використаємо наступні блоки і з бібліотики Simu-link:

- Генератор ступеневої сигналу Step

Призначення:

Формує ступінчастий сигнал.

Параметри:

Step time - Час настання перипаду сигналу

Initial value - Початкове значення сигналу

Final value - Кінцеве значення сигналу

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		33

Перепад може бути як в більшу сторону (кінцеве значення більше ніж початкова), так і в меншу (кінцеве значення менше ніж початкова). Значення початкового і кінцевого рівнів можуть бути не тільки позитивними, але й негативними (наприклад, зміна сигналу з рівня -5 до рівня -3).

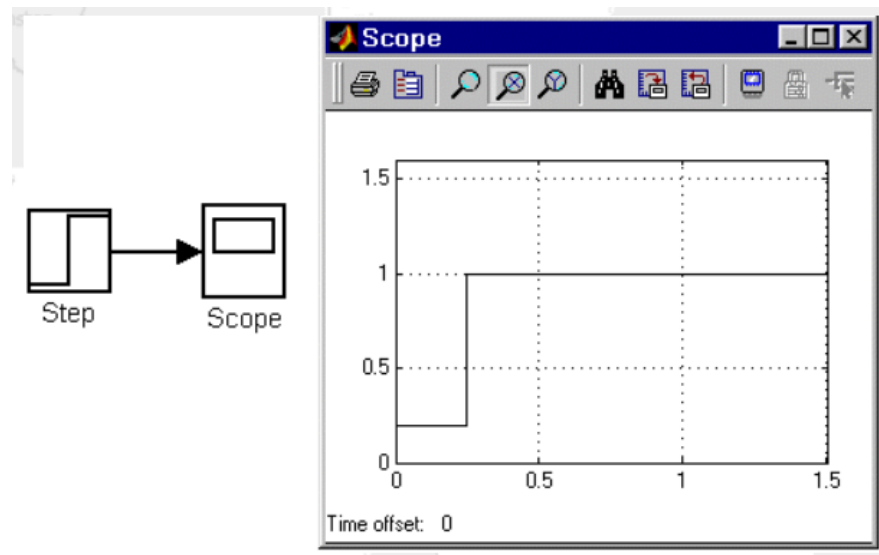


Рис. 3.1 Приклад використання генератора ступеневої сигналу.

- Осцилограф Scope

Призначення:

Будує графіки досліджуваних сигналів в функції часу. Дозволяє спострігати за змінами сигналів в процесі моделювання.

Зображення блоку і вікно для перегляду графіків показані на рис. 9.2.1.

Для того, щоб відкрити вікно перегляду сигналів необхідно виконати подвійне клацання лівою клавiшею "миші" на зображенні блоку. Це можна зробити на будь-якому етапі розрахунку (як до початку розрахунку, так і після нього, а також під час розрахунку). У тому випадку, якщо на вхід блоку надходить векторний сигнал, то крива для кожного елемента вектора будується окремим кольором.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		34

Налаштування вікна осцилографа виконується за допомогою панелей інструментів.

Панель інструментів містить 11 кнопок:

Print - друк вмісту вікна осцилографа.

Parameters - доступ до вікна настройки параметрів.

Zoom - збільшення масштабу по обох осях.

Zoom X-axis - збільшення масштабу по горизонтальній осі.

Zoom Y-axis - збільшення масштабу по вертикальній осі.

Autoscale - автоматична установка масштабів по обох осях.

Save current axes settings - збереження поточних налаштувань вікна.

Restore saved axes settings - установка раніше збережених налаштувань вікна.

Floating scope - переклад осцилографа в "вільний" режим.

Lock / Unlock axes selection - закріпити / розірвати зв'язок між поточною координатною системою вікна і відображуваним сигналом. Інструмент стають доступними після ввімкнення режим Floating scope.

Signal selection - вибір сигналів для відображення. Інструмент стають доступними після ввімкнення режим Floating scope.

Параметри:

Параметри блоку встановлюються у вікні 'Scope' parameters, яке відкривається за допомогою інструменту (Parameters) панелі інструментів.

Вікно параметрів має дві вкладки:

General - загальні параметри.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		35

Data history - параметри збереження сигналів в робочій області MATLAB.

На вкладці General задаються наступні параметри:

1. Number of axes - число входів (систем координат) осцилографа. При зміні цього параметра на зображенні блоку з'являються додаткові вхідні порти.

2. Time range - величина тимчасового інтервалу для якого відображаються графіки. Якщо час розрахунку моделі перевищує ліміт параметром Time range, то висновок графіка проводиться порціями, при цьому інтервал відображення кожної порції графіка дорівнює заданому значенню Time range.

3. Tick labels - висновок / приховування осей і міток осей. Може приймати три значення (вибираються зі списку):

all - підписи для всіх осей,

none - відсутність всіх осей і підписів до них,

bottom axis only - підписи горизонтальній осі тільки для нижнього графіка.

4. Sampling - установка параметрів виведення графіків у вікні. Задає режим виведення розрахункових точок на екран. При виборі Decimation кратність виведення встановлюється числом, що задає крок виводяться розрахункових точок. На рис. 9.2.6 і 9.2.7. показані графіки синусоїдальних сигналів розрахованих з фіксованим кроком 0.1 с. На рис. 9.2.6 у вікні блоку Score виводиться кожна розрахункова точка (параметр Decimation дорівнює 1). На рис. 9.2.7 показаний висновок кожного другого значення (параметр

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		36

Decimation дорівнює 2). Маркерами на графіках відзначені розрахункові точки.

5. floating scope - переклад осцилографа в "вільний" режим (при встановленому прапорці).

На вкладці Data history (рис. 9.2.9) задаються наступні параметри:

1. Limit data points to last - максимальна кількість відображуваних розрахункових точок графіка. При перевищенні цього числа початкова частина графіка обрізається. У тому випадку, якщо прапорець параметра Limit data points to last не встановлено, то Simulink автоматично збільшить значення цього параметра для відображення всіх розрахункових точок.

2. Save data to workspace - збереження значень сигналів в робочій області MATLAB.

3. Variable name - ім'я змінної для збереження сигналів в робочій області MATLAB.

4. Format - формат даних при збереженні в робочій області MATLAB.
Може приймати значення:

Array - масив,

Structure - структура,

Structure with time - структура з додатковим полем "час".

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		37

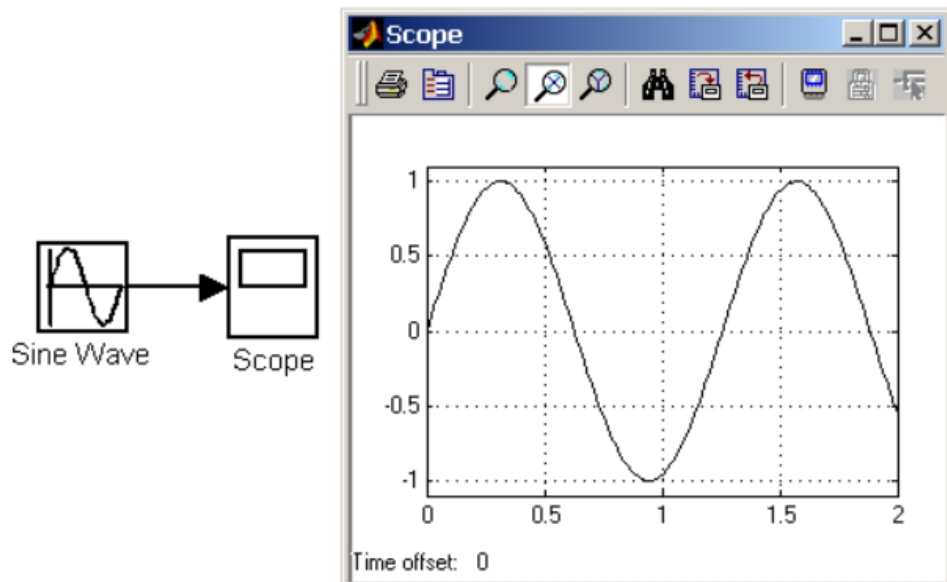


Рис 3.2 Осциллограф Scope

- Блок передавальної функції Transfer Fcn

Призначення:

Блок передавальної характеристики Transfer Fcn задає передавальну функцію у вигляді відношення поліномів.

Параметри:

Numerator - вектор або матриця коефіцієнтів полінома чисельника

Denominator - вектор коефіцієнтів полінома знаменника

Absolute tolerance - Абсолютна похибка.

Вхідний сигнал блоку повинен бути скалярним. У тому випадку, якщо коефіцієнти чисельника задані вектором, то вихідний сигнал блоку буде також скалярним (як і вхідний сигнал).

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		38

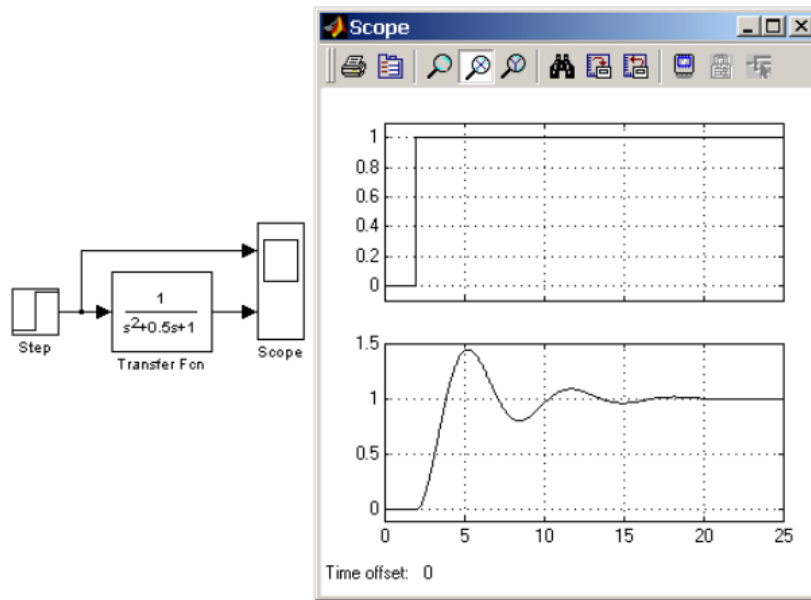


Рис 3.3 Приклад моделювання коливної ланки

- Блок обчислення суми Sum

Призначення:

Виконує обчислення суми поточних значень сигналів.

Параметри:

Icon shape - Форма блоку. Вибирається зі списку.

- round - коло,
- rectangular - прямокутник.

List of sign - Список знаків. У списку можна використовувати такі знаки:

+ (Плюс), - (мінус) і | (Роздільник знаків).

Saturate on integer overflow (прапорець) - Придушувати переповнення цілого. При встановленому прапорці обмеження сигналів цілого типу виконується коректно.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		39

Кількість входів і операція (додавання або віднімання) визначається списком знаків параметра List of sign, при цьому мітки входів позначаються відповідними знаками. У параметрі List of sign можна також вказати число входів блоку. В цьому випадку всі входи будуть підсумовуватись.

Якщо кількість входів блоку перевищує 3, то зручніше використовувати блок Sum прямокутної форми.

Блок може використовуватися для підсумовування скалярних, векторних або матричних сигналів. Типи сумміруємих сигналів повинні збігатися. Не можна, наприклад, подати на один і той же суммируючий блок сигнали цілого і дійсного типів.

Якщо кількість входів блоку більше, ніж один, то блок виконує поелементні операції над векторними і матричними сигналами. При цьому кількість елементів в матриці або векторі має бути однаковим.

Якщо в якості списку знаків вказати цифру 1 (один вхід), то блок можна використовувати для визначення суми елементів вектора.

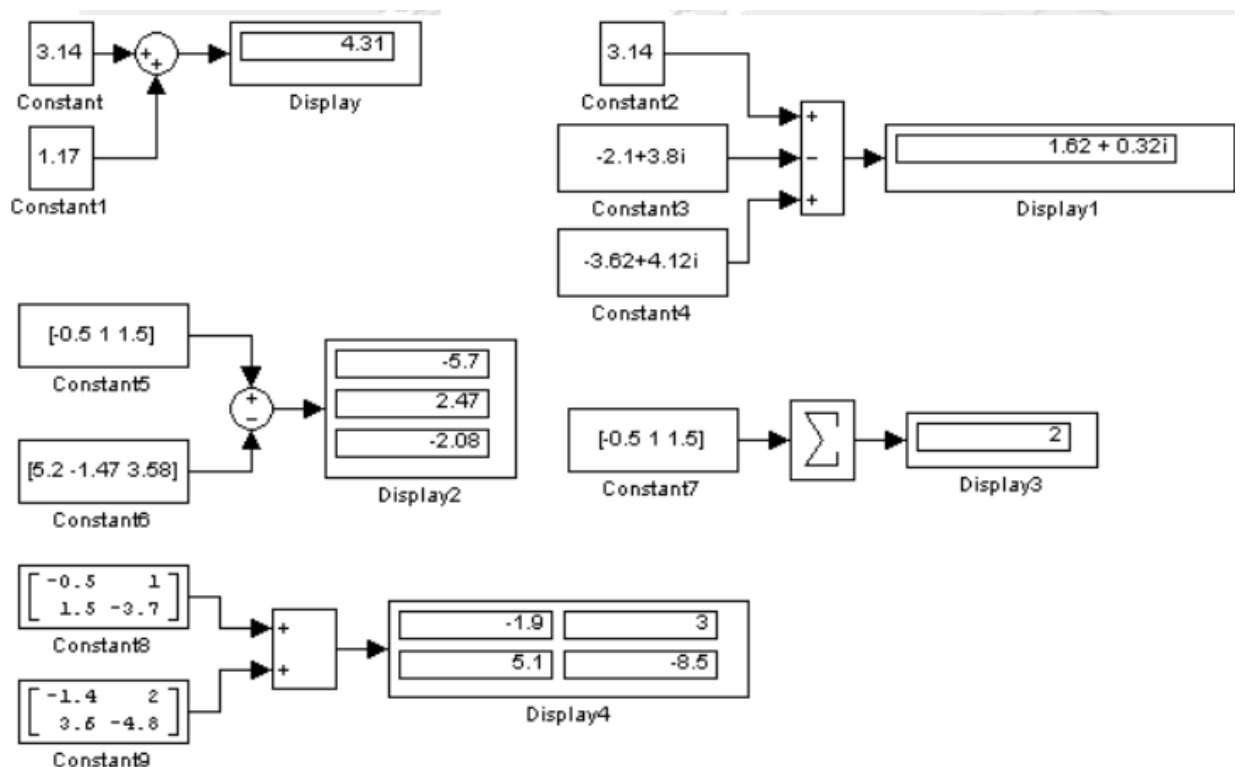


Рис 3.4 Приклади використання блока Sum

- Мультиплексор (змішувач) Mux

Призначення:

Об'єднує вхідні сигнали в вектор.

Параметри:

Number of Inputs - Кількість входів.

Display option - Режим перегляду. Вибирається зі списку:

bar - Вертикальний вузький прямокутник чорного кольору.

signals - Прямокутник з білим фоном і відображенням міток вхідних сигналів.

none - Прямокутник з білим фоном без відображення міток вхідних сигналів.

Вхідні сигнали блоку можуть бути скалярними і (або) векторними.

Якщо серед вхідних сигналів є вектори, то кількість входів можна задавати як вектор із зазначенням числа елементів кожного вектора. Наприклад, вираз [2 3 1] визначає три вхідних сигналу, перший сигнал - вектор з двох елементів, другий сигнал - вектор з трьох елементів, і останній сигнал - скаляр. У тому випадку, якщо розмірність вхідного вектора не збігається із зазначеною в параметрі Number of Inputs, то після початку розрахунку Simulink видасть повідомлення про помилку. Розмірність вхідного вектора можна задавати як -1 (мінус один). В цьому випадку розмірність вхідного вектора може бути будь-хто.

Параметр Number of Inputs можна задавати також у вигляді списку міток сигналів, наприклад: Vector1, Vector2, Scalar. В цьому випадку мітки сигналів будуть відображатися поруч з відповідними сполучними лініями.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		41

Сигнали, що подаються на входи блоку повинні бути одного типу (дійсного або комплексного).

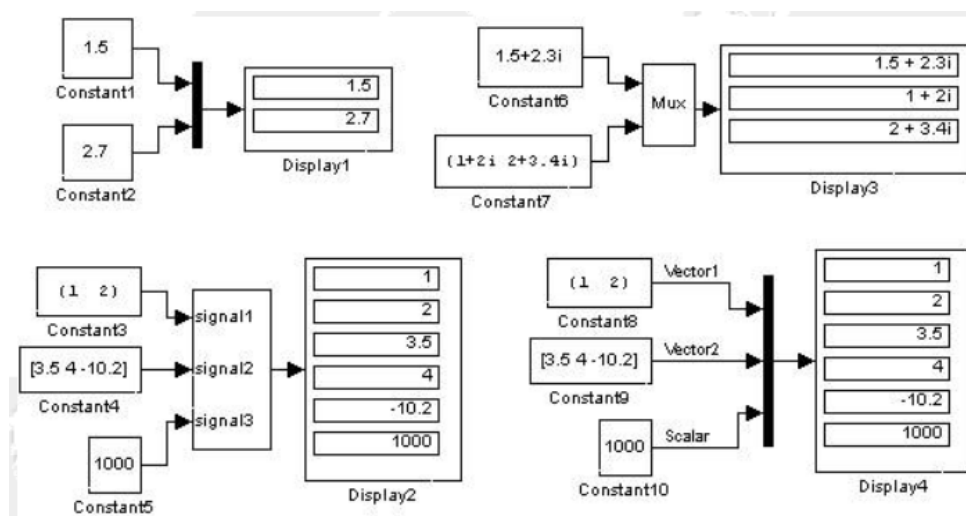


Рис 3.5 Приклад використання блоку Mux

- Блок збереження даних в робочій області To Workspace

Призначення:

Блок записує дані, що надходять на його вхід, в робочу область MATLAB.

Параметри:

Variable name - ім'я змінної, що містить записуються дані.

Limit data points to last - максимальна кількість збережених розрахункових точок по часу (відлік ведеться від моменту завершення моделювання). У тому випадку, якщо значення параметра Limit data points to last задано як inf, то в робочій області будуть збережені всі дані.

Decimation - кратність записи даних в робочу область.

Sample time - крок модельного часу. Визначає дискретність запису даних.

Save format - формат збереження даних. Може приймати значення:

Matrix - матриця. Дані зберігаються як масив, в якому число рядків визначається числом розрахункових точок по часу, а число стовпців - розмірністю вектора подається на вхід блоку. Якщо на вхід подається скалярний сигнал, то матриця буде містити лише один стовпець.

Structure - структура. Дані зберігаються у вигляді структури, що має три поля: time - час, signals - зберігаються значення сигналів, blockName - ім'я моделі і блоку To Workspace. Поле time для даного формату залишається заповненим.

Structure with Time - структура з додатковим полем (час). Для даного формату, на відміну від попереднього, поле time заповнюється значеннями часу.

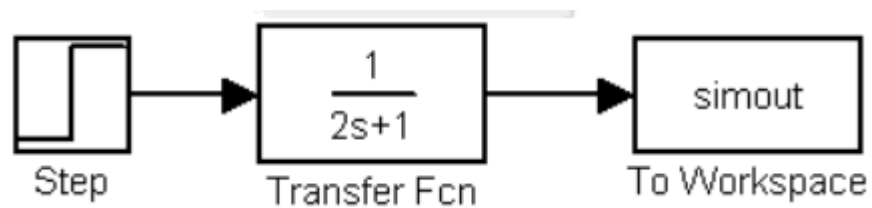


Рис 3.6 Участь блока ToWorkspace

Змоделюймо систему з управління технологічного об'єкта за допомоги вищеупомянутих блоків.

Спробуємо зробити декілька варіантів систем, що відрізнятимуться регулятором, вид та налаштування яких виберимо різними методами.

ПД (від англ. P-proportional, I-integral, D-derivative) - регулятором іменується прилад, що використовується в контурах управління, обладнаних ланкою зворотного зв'язку. Дані регулятори використовують для формування сигналу управління в автоматичних системах, де потрібно домогтися великих вимог до якості і точності перехідних процесів.

Керуючий знак ПД-регулятора виходить в результаті складу 3-х елементах: 1-а пропорційна величині сигналу неузгодженості, 2-а - інтегралу сигналу неузгодженості, 3-тя - його похідної. У разі якщо якийсь з даних 3-х компонент не інтегрований в процес складу, то регулятор стане вже не ПД, а елементарно пропорційним, пропорційно-дифференцируючим або ж пропорційно-інтегруючим.

1-ша складова – пропорційна.

Вихідний знак виділяє пропорційна елемент. Знак даний призводить до протидії поточному відхиленню вхідний величини, що підлягає регулюванню, від встановленого сенсу. Чим більше аномалія - що більш і знак. Коли на вході сенс регульованої величини точно також даним, то вихідний знак робиться рівним нулю.

У разі якщо забути лише тільки дану пропорційну компонент, і застосувати лише тільки її, то сенс величини, що підлягає регулюванню, не стабілізується на вірному сенсі ні разу. Всякий раз є статична помилка, яка дорівнює цьому значенню відмінності регульованої величини, власне що вихідний знак стабілізується на даному сенсі.

Наприклад, а)терморегулятор управляє потужністю нагрівального пристрою. Вихідний знак зменшується в міру наближення необхідної температури об'єкта, і знак управління вирівнює потужність на рівні

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44

термічних втрат. В результаті даного сенсу жар наприклад і не доб'ється, бо нагрівальний пристрій в елементарно зобов'язаний стане бути вимкнений, і почне остигати (потужність дорівнює нулю).

Більш коефіцієнт посилення між входом і виходом - менше статична помилка, але в разі якщо коефіцієнт посилення (по суті - коефіцієнт пропорційності) стане дуже великою, то за умови присутності затримок в системі (а вони нерідко неминучі), в ній незабаром почнуться автоколебання, а в разі якщо збільшити коефіцієнт ще більше - система просто втратить стабільність.

2-га складова – інтегруюча.

Інтеграл по часу від величини неузгодженості - є головна частка інтегрує елемента. Вона пропорційна даному інтегралу. Інтегруючий складову застосовується як один для виключення статичної промахи, тому що регулятор з періодом передбачає статичну помилку.

У недоступність зовнішніх збурень, крізь деякий час підлягає регулюванню розмір стане стабілізована на вірному сенсі, коли пропорційна елемент виявиться рівною нулю, і точність виходу стане повністю забезпечена інтегрує елемента. Але інтегруюча елемент також має можливість породити осциляції в межах точки позиціонування, в разі якщо коефіцієнт не підібраний правильно.

3-ий складова – диференційна.

Темпу конфігурації відмінності величини, що підлягає регулюванню, пропорційна 3-тя - диференціююча елемент. Вона важлива для такого, щоб протидіяти відхилень (викликаним зовнішніми впливами або ж затримками) від вірного положення, передбачуваного в майбутньому.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		45

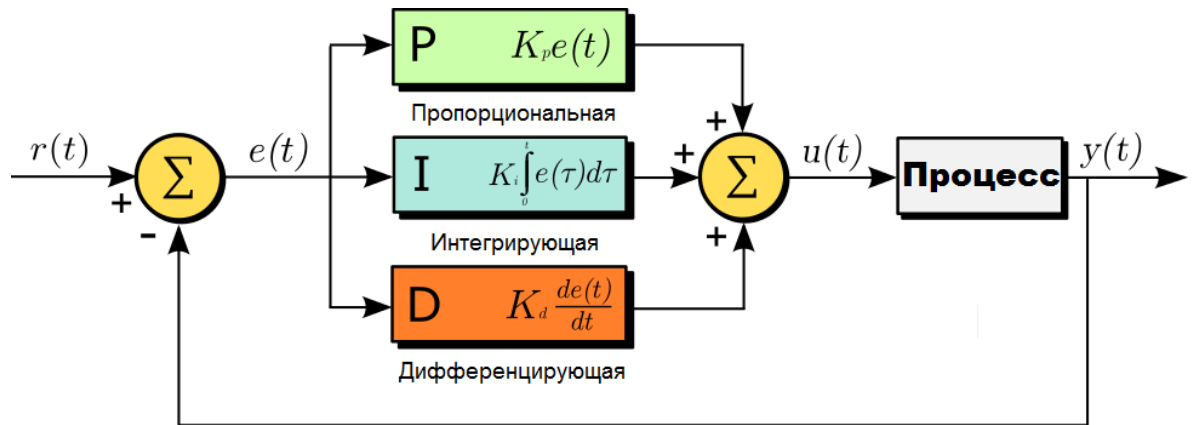
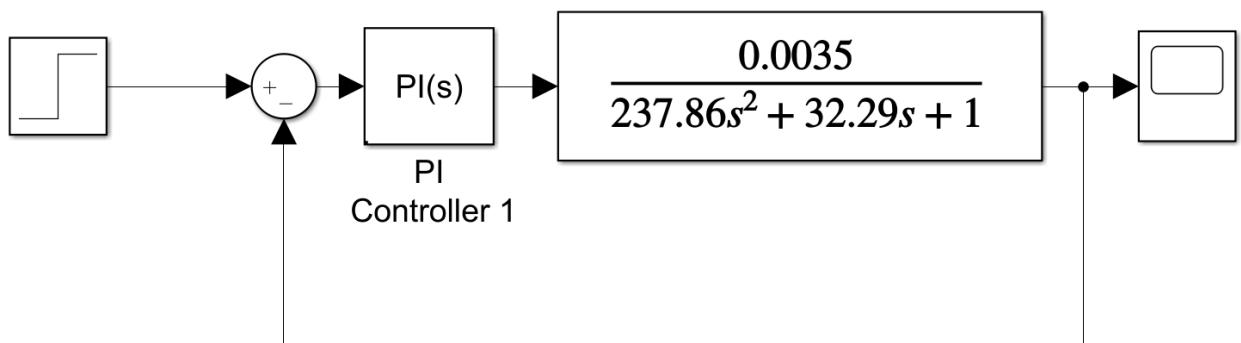


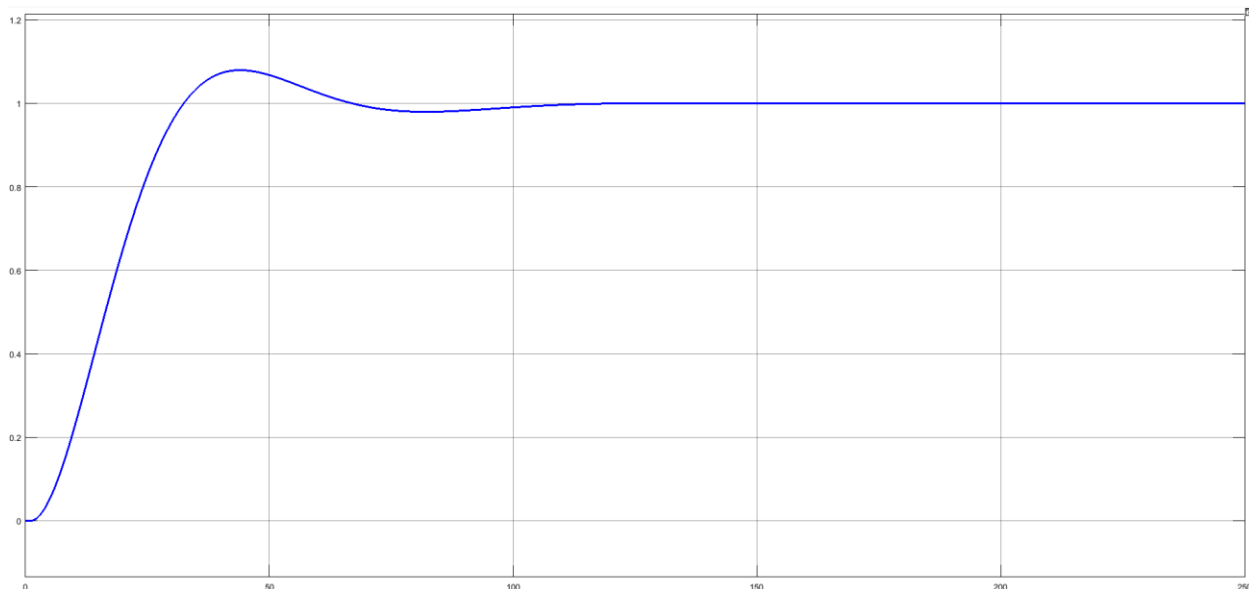
Рис 3.7 Використовуємо схема ПД-регулятора

Оскільки лише П- складова очевидно не є досить ефективною по собі, відкинемо її одинокі використання та перейдемо до дослідження ПІ- та ПД-регуляторів, для налаштування яких використаємо автоматичний режим Simulink, а також метод Циглера-Ніколса.

3.2. Синтез система з ПІ-регулятором



а)



б)

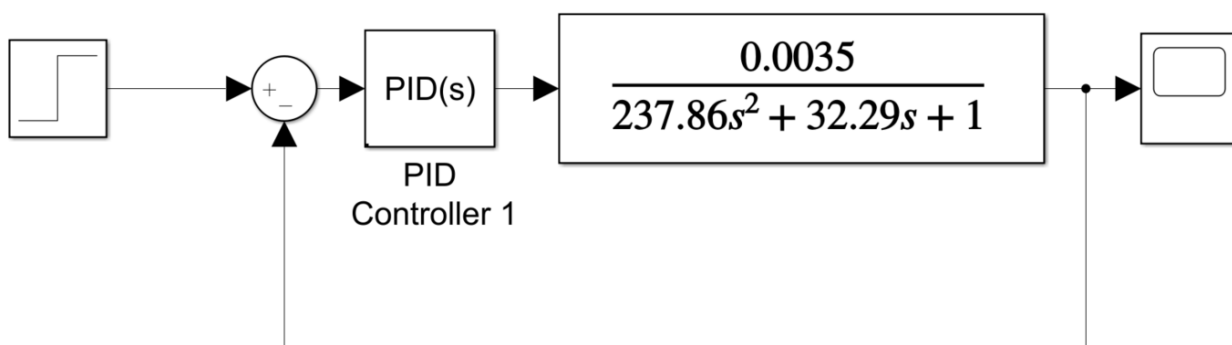
Proportional (P):

Integral (I):

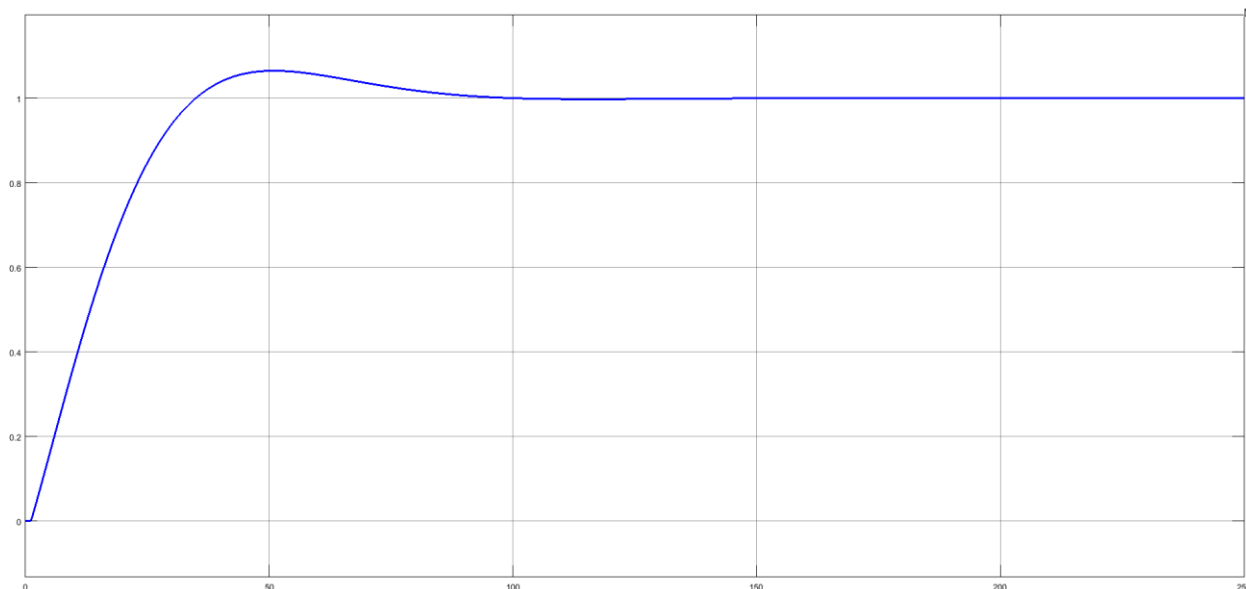
в)

Рис 3.8 а) – модель Simulink системи, б) – перехідна характеристика,
в) – налаштування регулятора

3.3. Синтез система з ПД-регулятором



а)



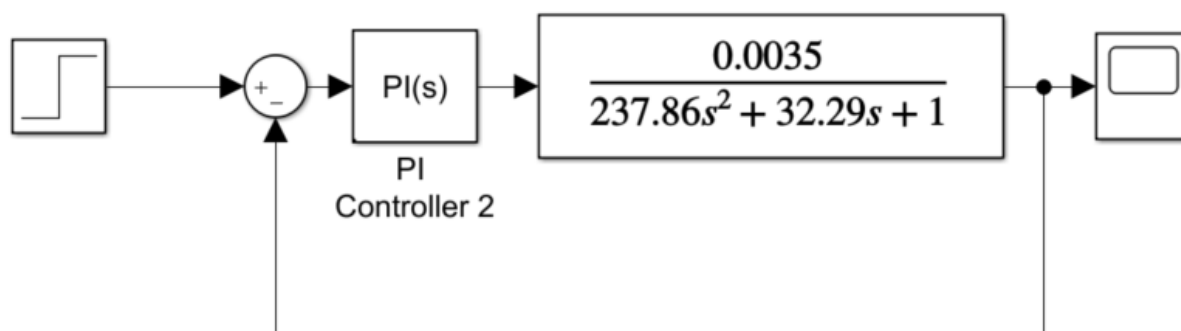
б)

Proportional (P):	<input type="text" value="556.949611622871"/>	...
Integral (I):	<input type="text" value="24.9582574519649"/>	...
Derivative (D):	<input type="text" value="2629.8862898859"/>	...
Filter coefficient (N):	<input type="text" value="7.41003323663517"/>	...

в)

Рис 3.9) – модель Simulink системи, б) – перехідна характеристика,
в) – налаштування регулятора

3.4. Синтез система з ПІ-регулятором за методом Ціглера-Нікольса



а)

$$C \nabla = 143.48 \times \frac{(1 + 13s)}{s}$$

б)

```
>> pid(C)
```

```
ans =
```

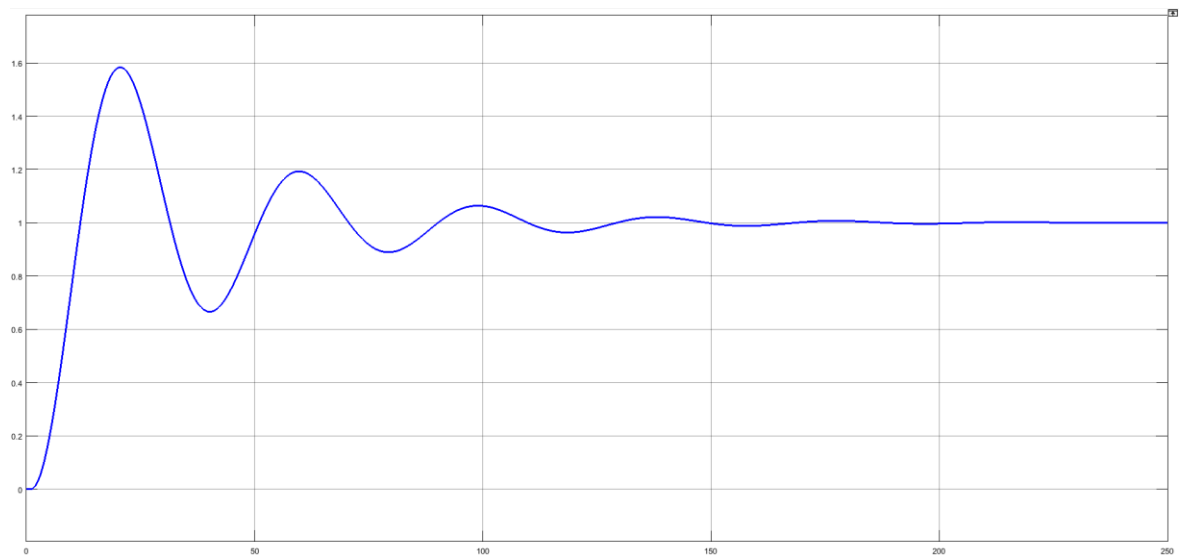
$$K_p + K_i * \frac{1}{s}$$

```
with Kp = 1.82e+03, Ki = 143
```

```
Name: C
```

```
Continuous-time PI controller in parallel form.
```

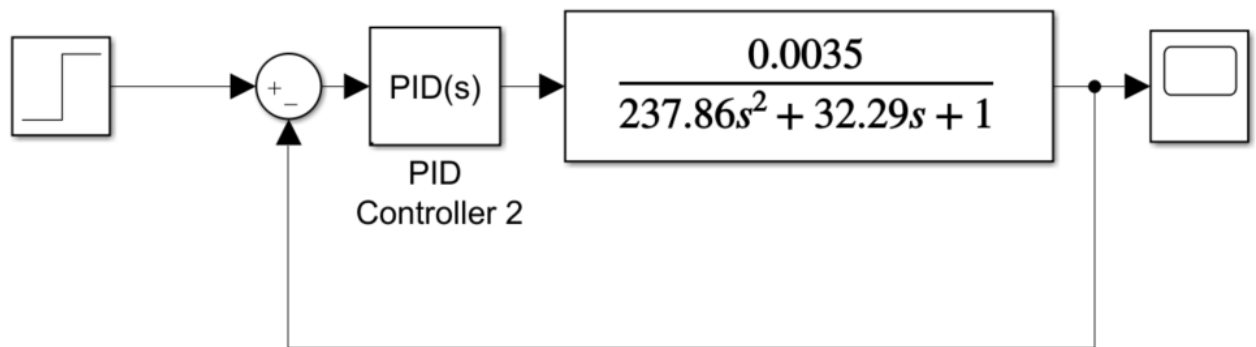
в)



г)

Рис 3.10 а) – модель Simulink системи, б) – ланка компенсатора у Sisotool, в) – налаштування регулятора, г) – перехідна хариктеристика

3.5. Синтез система з ПІД-регулятором за методом Ціглера-Нікольса



а)

$$C = 64.486 \times \frac{(1 + 2.7s)(1 + 13s)}{s(1 + 0.2s)}$$

б)

```
>> pid(C)
```

```
ans =
```

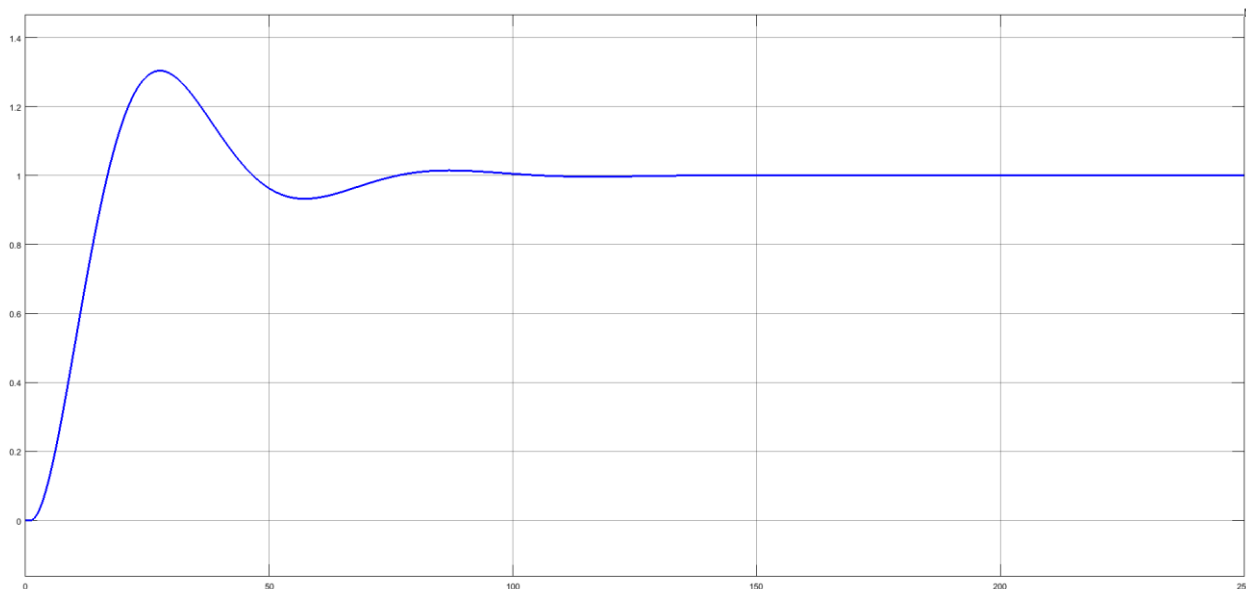
$$K_p + K_i * \frac{1}{s} + K_d * \frac{s}{T_f * s + 1}$$

with $K_p = 970$, $K_i = 64.5$, $K_d = 1.97e+03$, $T_f = 0.203$

Name: C

Continuous-time PIDF controller in parallel form.

в)



г)

Рис 3.11 а) – модель Simulink системи, б) – ланка компенсатора у Sisotool, в) – налаштування регулятора, г) – перехідна хариктеристика

3.6. Порівняльний аналіз розроблених систем керування

Для порівняльного аналізу різних систем управління необхідно мати деякі числові характеристики цих систем, що дозволяють оцінювати яка з них буде більш ефективною. Ці числові характеристики і називаються критеріями якості.

Система управління характеризується різними показниками, до яких в першу чергу можна віднести: точність, стійкість, швидкодія надійність, вартість, оптимальність і ін. З огляду на велику різноманітність систем і об'єктів управління, в даний час розроблено велику кількість різних критеріїв так чи інакше включають в себе вищенаведені показники. Між цими показниками (критеріями якості) існує тісний взаємозв'язок, тому прагнення поліпшити будь-якої показник системи управління призводить до погіршення іншого. Так, наприклад, прагнення зменшити помилку регулювання призводить до зменшення запасу стійкості і швидкодії і навпаки, або підвищення надійності системи неминуче призводить до збільшення її вартості.

З огляду на взаємозв'язок між різними показниками систем управління задачу вибору або проектування оптимальної системи можна розглядати як задачу на умовний екстремум. Знайти екстремум (мінімум і максимум) будь-якого показника, наприклад вартості, за умови, що інші показники не перевищують заздалегідь заданої величини.

Прямими показниками якості називаються показники, які виходять безпосередньо по перехідній характеристиці. З прямих показників якості найбільш часто використовують час регулювання і перерегулювання.

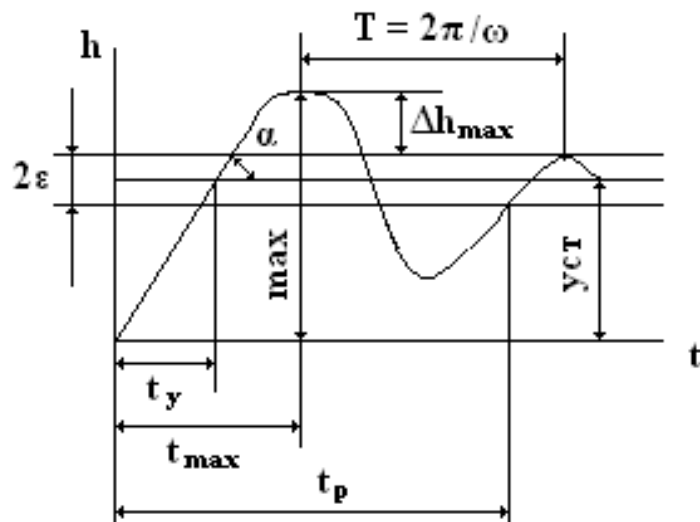


Рис 3.12 Візуалізація деяких критеріїв якості керування.

Одним з основних показників якості перехідного процесу регулювання є час регулювання t_P , що визначає тривалість перехідного процесу.

Процес регулювання охоплює період часу t_P з моменту появи обурення, що викликає відхилення регульованої величини від заданого значення, до повернення її регулятором до сталого заданому значенню. Теоретично перехідний процес регулювання триває необмежено довго, проте практично вважають, що перехідний процес регулювання закінчується в той момент часу, коли відхилення регульованої величини від заданого значення стає (і залишається) менше зони нечутливості регулятора.

$$|h(t) - h_{уст}| \leq \Delta, \quad \Delta = const$$

Час t_P залежить від динамічних властивостей регульованого об'єкта, прийнятого закону регулювання і значень параметрів настроювання регулятора. При будь-якому законі регулювання тривалість перехідного процесу в залежності від параметрів настройки регулятора може бути різною. Однак t_P не може бути менше певного значення, мінімального для регулятора даного типу. Це мінімальний час t_P , $t_{P\min}$ властиво так званим аперіодическим перехідним процесам регулювання. У всіх інших процесах, в затягнутому аперіодичному або сходяться коливальних і час регулювання t_P збільшується.

Багато, щоб при інших рівних показниках якості регулювання перехідний процес був якомога коротшим. Однак якщо обурення в умовах експлуатації виникають з високою частотою через інтервали часу, менші t_P , то перехідні процеси не встигають закінчитися, і тоді має місце тривале відхилення регульованої величини від заданого значення.

Час наростання перехідного процесу t_n - абсциса першої точки перетину кривої $h(t)$ з рівнем сталого значення h_u або кривої $e(t)$ з віссю абсцис.

Перерегулювання s - максимальне відхилення перехідної характеристики від усталеного значення вихідної величини, виражене в відносних одиницях або відсотках

$$\sigma\% = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\%$$

де $h_{\max 1}$ - значення першого максимуму.

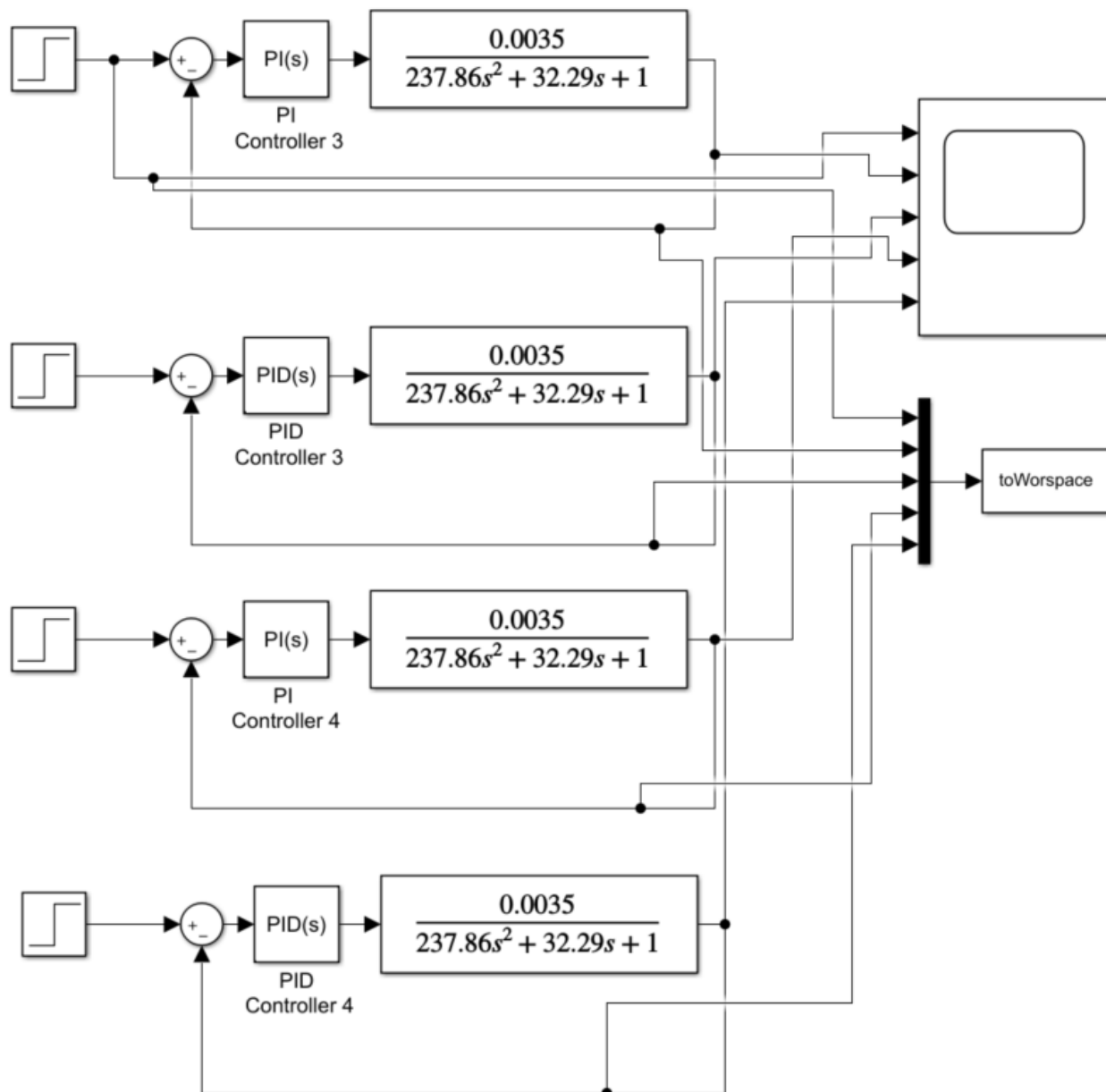
Ступінь затухання визначається, як відношення:

$$\Psi = \frac{A_1 - A_3}{A_3}$$

де A_1 і A_3 - відповідно 1-а і 3-я амплітуди перехідної характеристики.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		53

Для порівняння було побудовано систему у Simulink, яка зображена на рисунку 3.13 а. Результати роботи усіх систем показані на рисунку 3.13 б. Порівняльний аналіз усіх систем представлений у таблиці 3.1.



а)

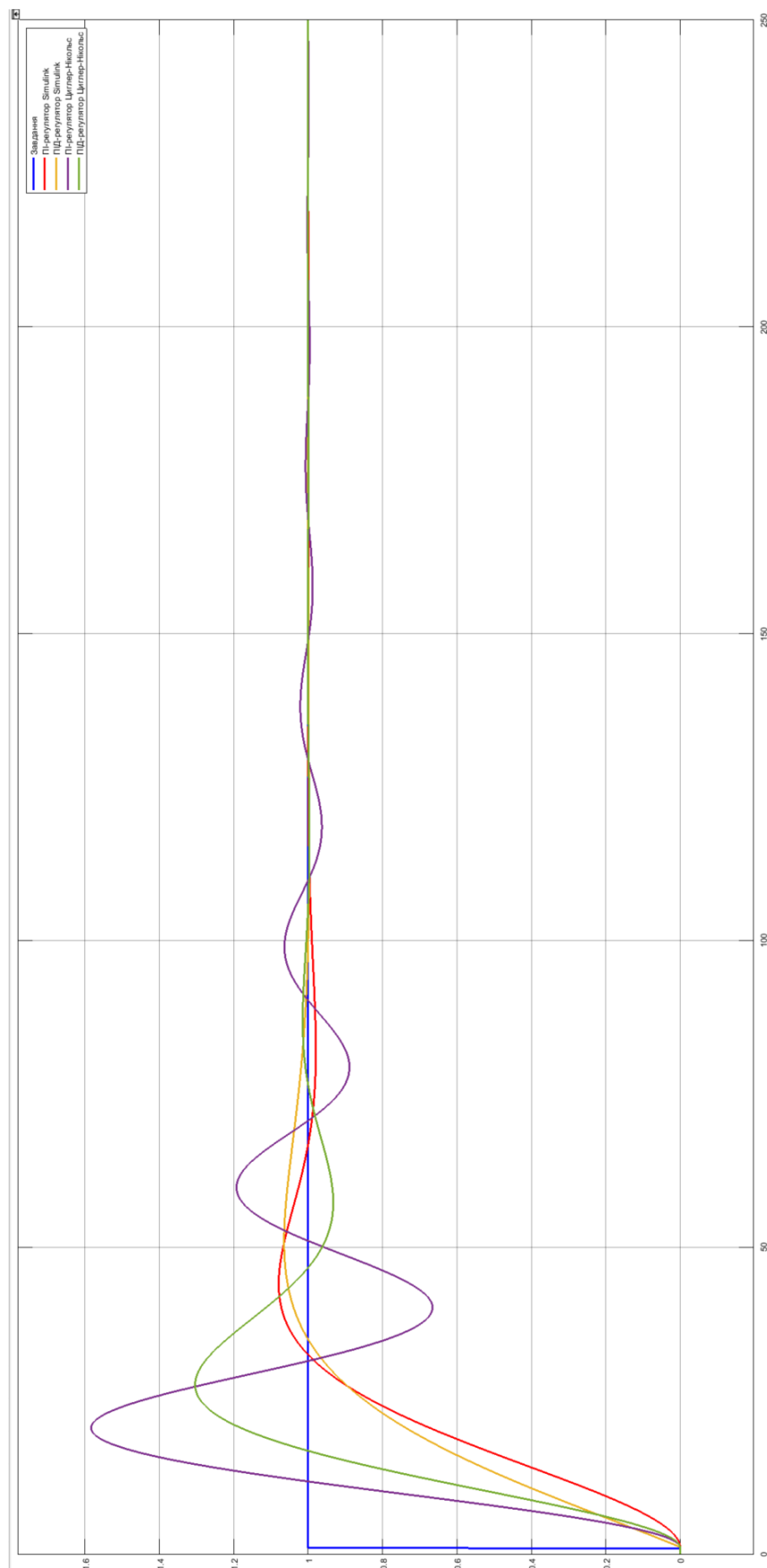


Рис 3.13 а) – поєднання систем з різними регуляторами, б) – порівняння перехідних характеристик систем

Табл. 3.1 Порівняння показателів якості керування для різних настройок регуляторів

Критерій	ПІ (авто)	ПІД (авто)	ПІ (Ц-Н)	ПІД (Ц-Н)
Час регулювання, с	54.287	62.829	103.236	64.307
Час нарощування, с	29.735	30.778	11.410	15.995
Перерегулювання, %	7.9	6.5	58.3	30.4
Степінь затухання	-	-	2.021	19.267

Також було пораховано середнє квадратичне відхилення від заданої величини, отримані результати представленні у таблиці 3.2.

Табл 3.2 Значення середнього відхилення величини від заданної

ПІ (авто)	ПІД (авто)	ПІ (Ц-Н)	ПІД (Ц-Н)
0.0077	0.0058	0.0067	0.0054

4. ОПИС СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ТЕРМІЧНИМ РОЗКЛАДАННЯМ

4.1. Аналіз фізико-хімічних основ процесу з точки зору автоматичного контролю виробництва

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням слід передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- тиск у трубопроводі 28, що надходить у вологовипарник 1,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у вологовипарник 1,
- тиск у трубопроводі 28, що надходить у пінновіддільник 2,
- тиск у трубопроводі 28, що надходить у вологовипарник 1,
- тиск у трубопроводі 28, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у підігрівник 4,
- температуру суміші в трубопроводі 28, що надходить у підігрівник 4,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші, що надходить у підігрівник 4,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у фільтр 5,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у циклонний реактор 6,
- температуру суміші в трубопроводі 28, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату повітря високого тиску в трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату суміші, що надходить у циклонний реактор 6,

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		57

- тиск у трубопроводі 1, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату води в трубопроводі 1, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату повітря високого тиску в трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- температуру повітря високого тиску в трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у повітропідігрівник 7,
- тиск у трубопроводі 30, на виході з холодильника 9,
- температуру суміші в трубопроводі 30, на виході з холодильника 9,
- концентрація суміші в трубопроводі 30, на виході з холодильника 9,

А також технологічну сигналізацію таких параметрів:

- тиск у трубопроводі 28, що надходить у вологовипарник 1,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у вологовипарник 1,
- тиск у трубопроводі 28, що надходить у пінновіддільник 2,
- тиск у трубопроводі 28, що надходить у вологовипарник 1,
- тиск у трубопроводі 28, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у підігрівник 4,
- температуру суміші в трубопроводі 28, що надходить у підігрівник 4,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші, що надходить у підігрівник 4,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші, що надходить у підігрівник 4,
- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у фільтр 5,

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		58

- витрату суміші в трубопроводі 28, що надходить у циклонний реактор 6,
- температуру суміші в трубопроводі 28, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату повітря високого тиску в трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату суміші, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 1, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату води в трубопроводі 1, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- витрату повітря високого тиску в трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- температуру повітря високого тиску в трубопроводі 3, що надходить у циклонний реактор 6,
- тиск у трубопроводі 3, що надходить у повітропідігрівник 7,
- тиск у трубопроводі 30, на виході з холодильника 9,
- температуру суміші в трубопроводі 30, на виході з холодильника 9,
- концентрація суміші в трубопроводі 30, на виході з холодильника 9,
-

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		59

Таблиця 4.1. — Параметри контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	Трубопроводі 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
2	Суміш, трубопровід 28	Витрата	-	Контроль, сигналізація
3	Трубопроводі 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
4	Трубопроводі 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
5	Трубопроводі 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
6	Суміш, трубопровід 28	Витрата	-	Контроль, сигналізація
7	Суміш, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
8	Трубопровід 3	Тиск	-	Контроль, сигналізація
9	Суміш, трубопровід 29	Витрата	-	Контроль, сигналізація
10	Трубопровід 3	Тиск	-	Контроль, сигналізація
11	Суміш, трубопровід 29	Витрата	-	Контроль, сигналізація
12	Трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
13	Суміш, трубопровід 28	Витрата	-	Контроль, сигналізація
14	Суміш, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
15	Трубопровід 3	Тиск	-	Контроль, сигналізація
16	Повітря високого тиску, трубопровід 3	Витрата	-	Контроль, сигналізація

17	Суміш, трубопровід 29	Витрата	-	Контроль, сигналізація
18	Трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
19	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, сигналізація
20	Трубопровід 3	Тиск	-	Контроль, сигналізація
21	Повітря високого тиску, трубопровід 3	Витрата	-	Контроль, сигналізація
22	Суміш, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
23	Трубопровід 3	Тиск	-	Контроль, сигналізація
24	Трубопровід 30	Тиск	-	Контроль, сигналізація
25	Суміш, трубопровід 30	Температура	-	Контроль, сигналізація
26	Суміш, трубопровід 30	Концентрація	-	Контроль, сигналізація

4.2. Розробка схеми автоматизації

Схема автоматичного контролю процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням включає в себе ряд контурів контролю і сигналізації. До контурів контролю входять контури контролю витрати, рівня, вологості та температури.

Контур 1 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(1-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (1-2) – електроконтактні манометр; (1-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 2 контролює витрату сировини в трубопроводі 28 та включає:

(2-1) – діафрагма камерна; (2-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (2-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (2-4) – пневматична панель керування; (2-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 3 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(3-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (3-2) – електроконтактні манометр; (3-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 4 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(4-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (4-2) – електроконтактні манометр; (4-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 5 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(5-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (5-2) – електроконтактні манометр; (5-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 6 контролює витрату суміші в трубопроводі 28 та включає:

(6-1) – діафрагма камерна; (6-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (6-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний,

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
						62
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

реєструвальний; (6-4) – пневматична панель керування; (6-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 7 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає: (7-1) – термоперетворювач опору платиновий; (7-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань; (7-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 8 контролює тиск у трубопроводі 3 та включає:

(8-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (8-2) – електроконтактні манометр; (8-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 9 контролює витрату суміші в трубопроводі 29 та включає:

(9-1) – діафрагма камерна; (9-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (9-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (9-4) – пневматична панель керування; (9-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 10 контролює тиск у трубопроводі 3 та включає:

(10-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (10-2) – електроконтактні манометр; (10-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 11 контролює витрату суміші в трубопроводі 29 та включає:

(11-1) – діафрагма камерна; (11-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (11-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (11-4) – пневматична панель керування; (11-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 12 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(12-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (12-2) – електроконтактні манометр; (12-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		63

Контур 13 контролює витрату суміші в трубопроводі 28 та включає:

(13-1) – діафрагма камерна; (13-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (13-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (13-4) – пневматична панель керування; (13-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 14 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:

(14-1) – термоперетворювач опору платиновий; (14-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань; (14-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 15 контролює тиск у трубопроводі 3 та включає:

(15-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (15-2) – електроконтактні манометр; (15-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 16 контролює витрату повітря високого тиску в трубопроводі 3 та включає:

(16-1) – діафрагма камерна; (16-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (16-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (16-4) – пневматична панель керування; (16-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 17 контролює витрату суміші та включає:

(17-1) – діафрагма камерна; (17-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (17-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (17-4) – пневматична панель керування; (17-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 18 контролює тиск у трубопроводі 1 та включає:

(18-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (18-2) – електроконтактні манометр; (18-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		64

Контур 19 контролює витрату води в трубопроводі 1 та включає:

(19-1) – діафрагма камерна; (19-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (19-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (19-4) – пневматична панель керування; (19-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 20 контролює тиск у трубопроводі 3 та включає:

(20-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (20-2) – електроконтактні манометр; (20-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 21 контролює витрату повітря високого тиску в трубопроводі 3 та включає:

(21-1) – діафрагма камерна; (21-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (21-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (21-4) – пневматична панель керування; (21-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 22 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:

(22-1) – термоперетворювач опору платиновий; (22-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань; (22-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 23 контролює тиск у трубопроводі 3 та включає:

(23-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (23-2) – електроконтактні манометр; (23-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 24 контролює тиск у трубопроводі 30 та включає:

(24-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (24-2) – електроконтактні манометр; (24-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 25 контролює температуру суміші в трубопроводі 30 та

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		65

включає:

(25-1) – термоперетворювач опору платиновий; (25-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань; (25-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

4.3. Постановка задачі до розробки схеми дистанційного керування і аварійного захисту електромоторів технологічного процесу.

На виробництвах робота насосів контролюється технічним персоналом згідно роботи певного процесу. Розробка системи аварійного захисту та технологічних блокувань для технологічного процесу є важливою та потребує ретельності при встановленні електродвигунів. В багатьох технологічних обладнаннях на різних підприємствах використовують електродвигуни. Двигуни мають як електричну, так і механічну систему захисту.

При натисненні кнопки включення електродвигуна повинен спрацювати магнітний пускач і замкнутися нормально розімкнутий контакт, який замикає ланцюг цього магнітного пускача. Замикаються також контакт сигналізації включення магнітного пускача і три контакти живлення електродвигуна. У той же час розмикається нормально замкнутий контакт сигналізації виключення магнітного пускача. Захист електродвигуна передбачає термічний захист, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

Система автоматичного управління електродвигунами процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням:

- автоматичне відключення мотору від живлення під час аварії або поломки, та технологічне блокування інших електродвигунів;
- закриття регулювальних клапанів для зупинки подачі сировини, поки не відновиться робота електромотору та не створиться нормальний тиск для подальшого продовження подачі сировини;

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		66

- нормальну роботу процесу виробництва; захист електродвигуна, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

При розробці схеми аварійного захисту електромоторів треба з'ясувати, яка плата КБЗ підключена в приладі ІТМ-11. Тому що плата КБЗ 17-K01 має контакти у вигляді твердотілих реле, які дозволяють підключити дискретний сигнал у вигляді постійного струму і величиною 24V.

4.4. Опис роботи принципової електричної схеми з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань

Принципова електрична схема з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням.

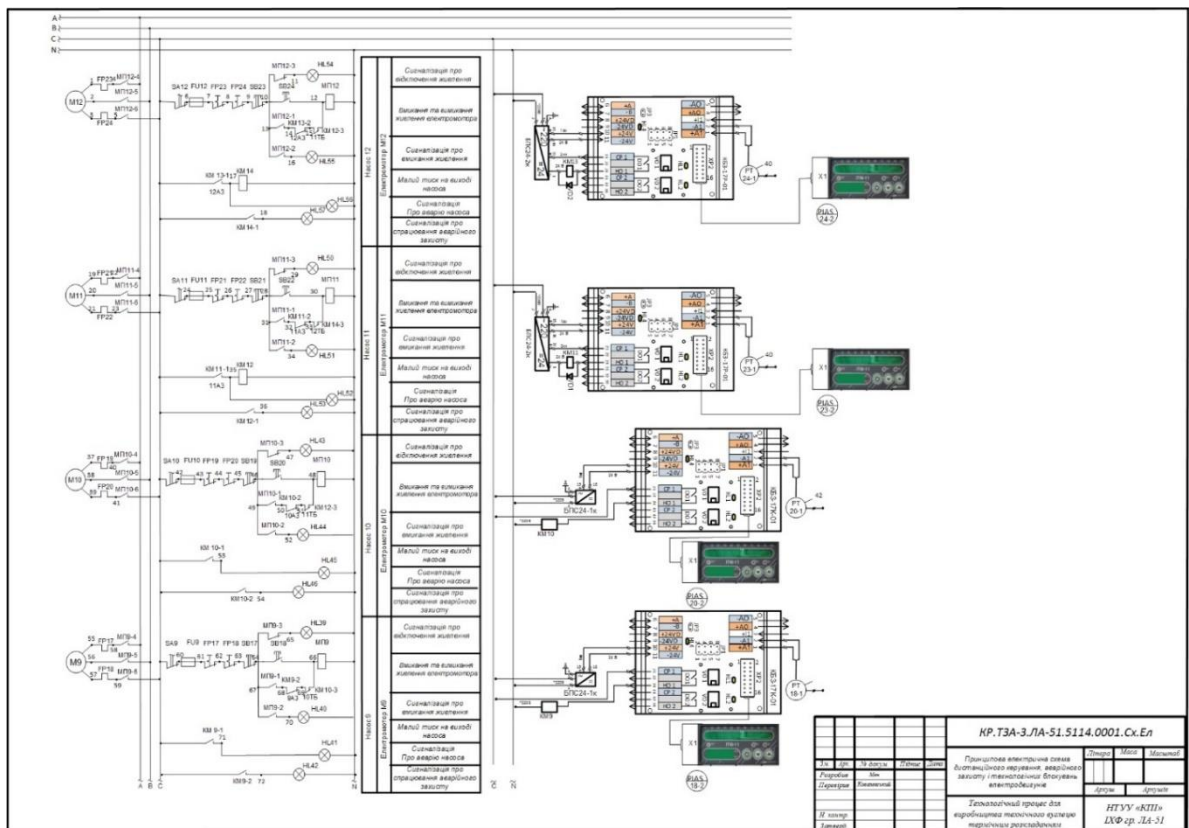


Рис.4.1. Принципова електрична схема з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням

Під час роботи відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка зупиняється і зупиняється електродвигун, що може спричинити вихід його з ладу. У цьому випадку (в разі аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист. Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу. Мікропроцесорний прилад ІТМ-11, в якому використовується твердотільне реле, через контакт якого не можна підключати напругу 220 В. Рекомендується через твердотіле реле ІТМ-11 під'єднувати електромагнітне реле, яке працює на напрузі 24 В від джерела постійного струму. Враховуючи цю особливість в схемах електрозахисту треба використовувати два електромагнітних реле.

Розглянемо роботу електромоторів на прикладі одного МП12. При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт КМ13-1 в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ13. Реле КМ14 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ14-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ57, яка показує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ13-3 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МП12. Після проведення чищення і ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М12 включається за допомогою кнопки SB24. Так як насос миттєво робочий тиск не набирає, кнопку SB24 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не погаснуть червоні сигнальні лампочки НЛ56, НЛ57, якщо ці лампочки погасли, кнопку SB24 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП12 проходить через контакт МП12-3. Тоді ІТМ-11 виробляє дискретний сигнал, тобто на платі КБЗ 17Р-01 контакт нормально розімкнений замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ56 і

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		68

подається струм на обмотку електромагніта КМ14. Реле аварійного захисту КМ14 спрацьовує та інформує про аварійний сигнал, за допомогою якого повинно вимикатись живлення електродвигуна М12.

Плата КБЗ-17Р-01 підключена до мережі через блок живлення БПС 24-1К, який перетворює змінний сигнал мережі 220В в постійний уніфікований сигнал 24В. Через Індикатор НЛ56, НЛ57 показують спрацювання аварійного захисту падіння(підвищення) тиску в трубопроводі.

4.5. Опис роботи системи з аварійного захисту з електромоторів технологічного процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням

На принциповій електричній схемі показані схеми дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для електромоторів. Всі ланцюги управління побудовані за типовим варіантом.

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього зупиняється крильчатка і електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист.

Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ13. Реле КМ13 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ14-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ56, яка вказує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ14-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		69

електромагніту магнітного пускача МП12. У результаті цього живлення електродвигуна М12 при аварії вимикається.

Після проведення ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М12 включається за допомогою кнопки SB24. Так як насос миттєво не набирає робочий тиск, кнопку SB24 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не згасне червона сигнальна лампочка HL54, якщо ця лампочка згасла, кнопку SB24 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП12 проходить через контакти МП12-1 і КМ14-2.

4.6.Опис роботи схеми технологічної сигналізації

Технологічна сигналізація в процесі призначена для оповіщення оператора, що слідкує за величиною параметрів технологічного процесу про ненормальну зміну вимірюваного параметру, за допомогою сигнальних лампочок. Наприклад, це може бути сигналізація про падіння рівня тиску у трубопроводі або про перевищення температури в апараті. Технологічна сигналізація необхідна для того, щоб наглядно було видно де саме сталася поломка і відповідно, де її потрібно ліквідувати в найкоротші терміни. Важливу роль відіграють схеми технологічної сигналізації, адже за допомогою них можна відразу побачити, за що відповідає та, чи інша лампочка і в якому випадку вона спрацьовує, який контакт замикається для того, щоб лампочка загорілася.

На принциповій електричній схемі показані схеми технологічної сигналізації для двох параметрів. Всі ланцюги сигналізації побудовані за відповідним варіантом.

Сигналізація спрацьовує при досягненні максимального чи мінімального значення контролюваного параметру. Замкнеться контакт в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ13. Реле КМ14 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ14-1 (нормально замкнений) розмикається і гасне лампочка

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		70

Після того як температура розчину унормується контакт в приладі розмикається, ланцюг живлення електромагніту КМ14 розривається. Реле спрацьовує і контакти перемикаються назад. Починає світитися лампочка HL53.

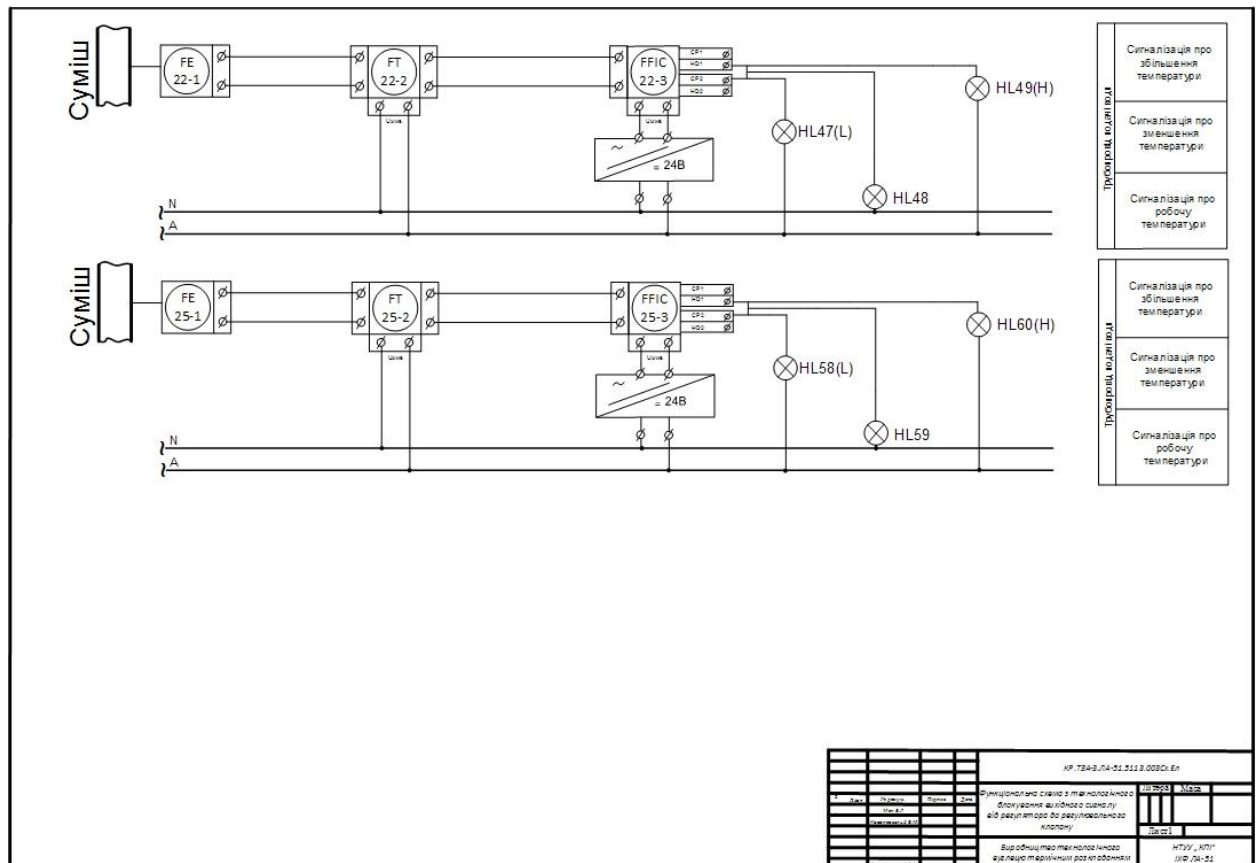


Рис.4.2. Принципова електрична схема технологічної сигналізації

4.7. Технологічні блокування

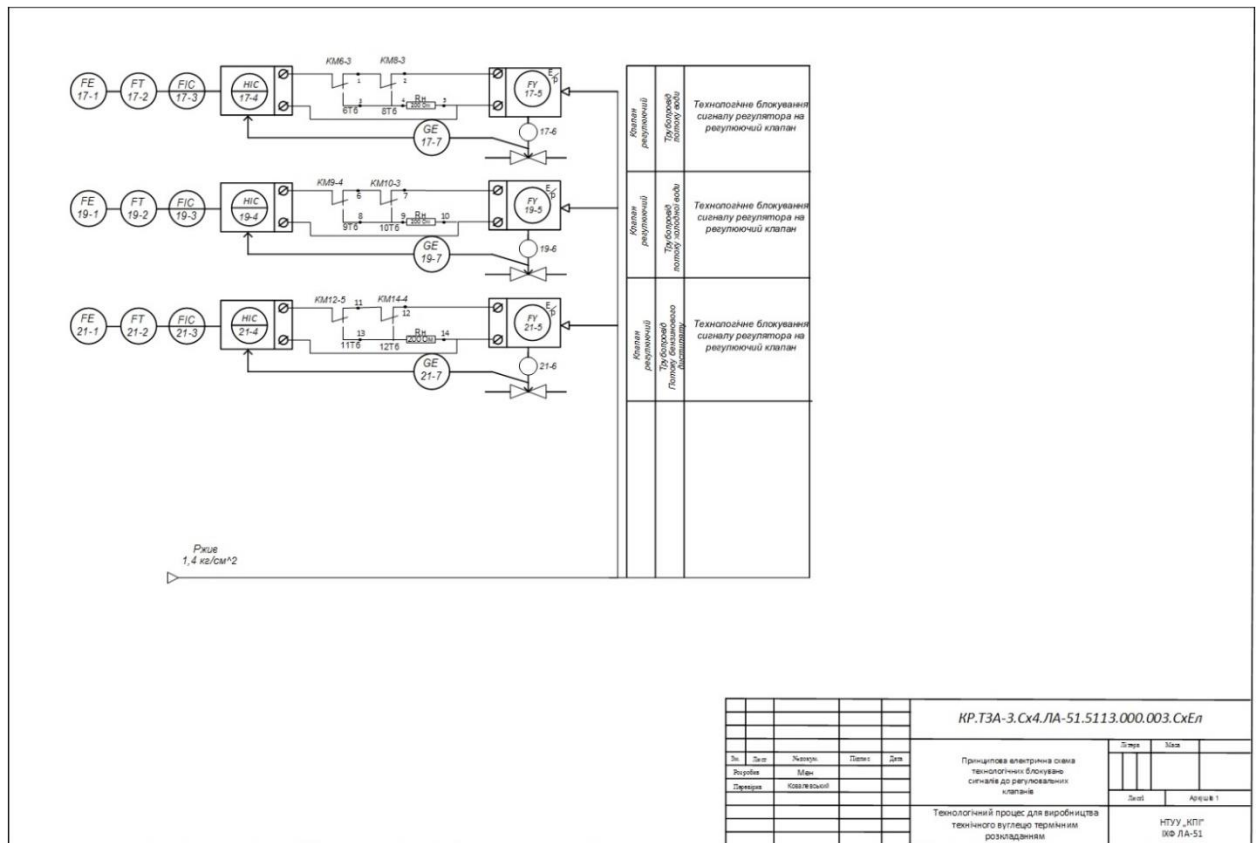


Рис.4.3. Принципова електрична схема блокувань сигналів до регулювальних клапанів.

Аварійний захист передбачає відключення моторів: М9, М10, М11, М12 вони вимикаються в результаті спрацювання реле зазначених на схемі. Блокування спрацьовує, коли замикається контакт КМ13-2 - при малому тиску в трубопроводі після насоса, загоряються сигнальні лампочки НЛ54 і НЛ55, які позначають що впав тиск і спрацювало реле КМ16. Розмикається інші контакти і клапани нормально відкриті закриваються, а нормально закриті відкриваються. Аналогічно працюють інші ланцюги блокувань електродвигунів насосів. Коли виникає аварія у відцентрованому насосі і формується сигнал аварійного захисту електродвигуна за допомогою аварійного сигналу, в цьому випадку повинна спрацювати система технологічних блокувань, яка повинна відключити вихідний сигнал регулятора, тобто регулюючі клапани повинні повністю закрити трубопроводи.

Блокування можуть спрацьовувати в декількох випадках:

1. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М9.
2. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М10.
3. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М11.
4. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М12.

4.8.Опис роботи схеми технологічних блокувань.

Блокування спрацьовує коли замикається контакт приладу, наприклад, (поз. 21-2), при малому тиску в трубопроводі після насоса. В наслідок замикається контакт КМ13-1 реле КМ13 ($U_{жив}=220В$) загорається сигнальна лампочка НL54 далі напруга подається на реле КМ14. Після цього замикається контакт реле КМ14-1 ($U_{жив}=220В$) і загорається лампочка НL55, які означають що впав тиск і спрацювало реле КМ14. В схемі включення виключення електромоторів розмикаються контакти реле КМ14-2 і двигун вимикається Розглянемо приклад схеми технологічної блокування (рисунок 5.2.)

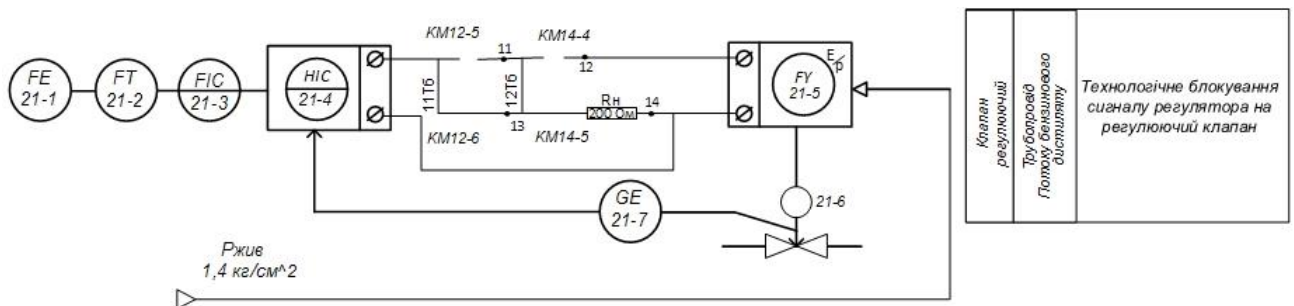


Рис.4.3. Функціональна схема з технологічного блокування сигналу до регулювального клапану.

Для того, щоб прилади та пристрої було правильно підключено треба розробити монтажну-комутаційну схему, але для цього потрібно виконати удосконалення та розгорнення схеми, зображеної на рис.5.2. При розробці кінцевого варіанту схеми зобразимо плати підключення та зовнішній вигляд відповідних приборів.

5.ОХОРОНА ПРАЦІ

Верховною Радою України прийнятий Закон України "Про охорону праці" (в редакції Закону № 229-IV від 21.11.2002. - ВВР. -2003. - № 2. - ст. 10). Закон України «Про охорону праці» – Закон України, що визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом (власником) і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Прийнятий 14 жовтня 1992 р.

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності .

В цьому дипломному проекті розроблений розділ «Охорона праці» для теми: «Автоматизація процесу виробництва технічного вуглецю термічним розкладанням».

При обслуговуванні системи автоматизації, оператор знаходиться в операторській. Площа операторської 38 м², об'єм 95 м³, у операторській працюють 2 оператори. На одного працюючого приходить 19 м² площі та 47,5 м³ повітря.

На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- Повітря робочої зони
- Виробниче освітлення
- Електробезпека
- Шум
- Пожежна безпека

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		74

Необхідно проаналізувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі фактори і розробити необхідні міри для їх усунення.

Провівши аналіз можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів необхідно зробити дослідження операторської на електронезбезпечність, метеорологічні умови, освітлення, пожежну безпеку, а також зробити дослідження по захисту від шуму.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		75

5.1. Шум

Джерелом шуму при роботі обладнання є:

- трубопроводи,
- система кондиціонування
- насоси.

Рівень шуму від систем кондиціонування та насосів становить $L = 100$ дБА.

Захист від шуму досягається розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням засобів і методів індивідуального і колективного захисту, будівельно-акустичними методами.

Засоби колективного захисту діляться стосовно джерела шуму: понижуючі шум у джерелі виникнення (найбільше ефективно); понижуючі шум на шляхах його поширення.

По способу реалізації:

- Акустичні: ґрунтуються на акустичному вимірі робочої зони і за принципом дії підбираються засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляція, демпфірування, застосування глушників шуму.

- Будівельно-акустичні методи застосовують: екрани, звукоізоляцію, кабінки спостереження, дистанційне керування, кожухи, ущільнення і т.д. Найбільше ефективні звукоізолюючі матеріали: трипласт (композитний матеріал); пластобетони з наповненням. Звуковбирні матеріали: мармур, бетон, граніт, цеглина, мінераловата, матеріали з щільною перфорацією.

- Архітектурно-планувальні: раціональне розміщення робочих місць; раціональний режим праці і відпочинку.

Активна форма захисту – генерація шуму в протифазі до джерела. Засоби індивідуально захисту: навушники, вушні вклади, шлемофони, каски.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		76

Допустимі норми вібрації на робочих місцях (обладнання, що викликає вібрацію) не перевищує допустимих значень. Управління витримує рівень вібрації з частотою до 25 Гц і з амплітудою не більше 0,1 м.

Для зменшення рівня шуму від трубопроводів, для них додатково передбачені комплектні шумозахисні кожухи. Завдяки усім цим заходам шумоізоляції, рівень шуму на даному об'єкті складає $L = 50-60$ дБА., що не перевищує допустимі значення, відповідно до ДСНЗ.3.6.037-99.

5.2. Виробниче освітлення

У денний час в операторській передбачене денне освітлення згідно ДНБ В 25.28-2006. Роботи, виконувані в операторській, пов'язані зі зняттям показань з контрольно-вимірювальної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт.

У приміщенні КВП і А є вікна розміром 3300x2300 мм. Вони забезпечують значення коефіцієнта природного освітлення 7 - 9 %.

КПО для даного розряду робіт при верхньому і комбінованому освітленні складає 5 %. Отже, фактичне значення КПО відповідає нормам.

У темний час доби використовують штучне висвітлення. По ДНБ В 25.282006 освітленість відповідна III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах повинна бути $E_n = 250$ Лк, $F_l = 2800$ Лм світловий потік газорозрядних ламп:

Приймемо лампи типу ЛДЦ15-2 кількістю $N = 16$ штук.

При цьому $E_{\text{факт}} = 270$ Лк.

Освітленість приміщення відповідає нормам ДНБ В 25.28-2006.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		77

5.3. Повітря робочої зони

До засобів нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць ставляться пристрої вентиляції, кондиціонування й очищення повітря, опалення, автоматичного контролю довибухових концентрацій і сигналізації.

Речовини що являються відходами в процесі очистки води є в тій чи іншій мірі шкідливими (або промисловими отрутами).

Гігієнічне нормування шкідливих речовин проводять по гранично допустимих концентраціях (ГДК, мг/м³) у відповідності з нормативними документами: для робочих місць визначається гранично допустима концентрація в робочій зоні – ГДКрз (ГОСТ 12.1.00588/98). Гігієнічне нормування вимагає, щоб фактична концентрація забруднюючої речовини не перевищувала ГДК ($C_{\text{факт}} \leq 1$).

ГДКрз – це максимальна концентрація, що при щоденній (крім вихідних днів) роботі у продовження 8 год чи при іншій тривалості, але не більш 41 год у тиждень, протягом усього стажу (25 років) не може викликати захворювань чи відхилень стану здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи чи у віддалений період життя сучасного і наступних поколінь.

Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

- 1) температура повітря;
- 2) відносна вологість повітря;
- 3) швидкість руху повітря;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання.

Фактичні метеорологічні умови в операторській для роботи середньої важкості:

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		78

- Температура повітря, °С

Перехідний та холодний період року – 18-24 °С.

Теплий період року – 19-28 °С.

Фактичні метеорологічні умови – 21-24 °С.

- Відносна вологість повітря, %

Холодний період року – 45-65 %.

Теплий період року – 40-75 %.

Фактичні метеорологічні умови – 35-60 %.

- Швидкість руху повітря, м/с

Холодний період року – 0,15 м/с.

Теплий період року – 0,25 м/с.

Фактичні метеорологічні умови – 0,08м/с.

Для очищення робочого середовища від шкідливих речовин що можуть у нього потрапляти а також для подачі свіжого повітря використовується припливно-витяжна вентиляція.

Засоби індивідуального захисту є допоміжною мірою захисту працівників цеху від шкідливої дії професійних факторів. Для захисту дихальних шляхів використовують протигази ИП-4М. Для захисту очей використовуються захисні окуляри.

До засобів нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць ставляться освітлювальні прилади, світлові прорізи.

Додатково до технологічних заходів системами опалення й вентиляції повітряне середовище в приміщеннях доводиться до вимог санітарних норм і правил техніки безпеки.

Опалення виробничих приміщень – повітряне, сполучене із приточною вентиляцією.

Отже видно, що фактичні метеорологічні умови задовольняють допустимим нормам ДСНЗ.3.6.042-99.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		79

5.4. Електронебезпека

Організація електропостачання здійснюється через дві незалежні лінії по 20кВ, на території розміщено дві підстанції:

1) Приміщення операторської відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою по ступеню враження електричним струмом, так як на струмопровідний і можливо одночасний дотик людини до металевих конструкцій будинку, що має з'єднання з землею і металевим корпусом електроустаткування і приладів.

2) Мережа з напругою $U = 220/380$ В і частотою 50 Гц.

У операторській встановлені прилади, що працюють під напругою 220 В, частотою 50 Гц. Мережа з ізольованою нейтраллю.

У операторській при експлуатації електроустаткування і приладів можлива поява небезпеки поразки електричним струмом у наслідок наступних причин:

1) ушкодження струмопровідних ліній електрокабелів, порушення ізоляції і заземлення щитів, пультів і електроустаткування;

2) неправильна експлуатація переносного освітлення;

3) порушення правил електронебезпечності при експлуатації електричного устаткування і освітлення (спроби самовільного усунення несправностей, заміни світильників);

4) робота на несправному устаткуванні;

5) дотик до відкритих проводок струмоведучих частин;

6) пробій на установці (напруга дотику);

7) крокова напруга;

8) електрична дуга.

До заходів щодо захисту від поразки електричним струмом відносяться:

1) Ізоляція в електроустановках.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		80

Ізоляція – шар діелектрика, яким покривають поверхню струмоведучих елементів, або конструкція з непровідного матеріалу, за допомогою якої струмоведучі частини відокремлюються від інших частин електрообладнання.

Використовується ізоляція двох видів (робоча та додаткова).

Робоча ізоляція - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом.

Додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом в разі ушкодження робочої ізоляції.

Опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм.

2) Блокування.

По принципу дії блокування розділяються на механічні, електромагнітні і електричні. В цеху застосовуються, в основному, електричні блокування. Електричні – застосовуються в електроустановках приводів і комплектних вузлів частотно-регульованого.

Мала напруга – це номінальна напруга не більше 42 В між фазами і по відношенню до землі, застосовується у цілях захисту від ураження електричним струмом. Впроваджена всередині на розетках в шафах з автоматизації для місцевого освітлення.

3) Орієнтація в електроустановках.

Засоби орієнтації дозволяють персоналу орієнтуватися при виконанні робіт і застерігають його від помилкових дій. Орієнтацію забезпечує маркіровка частин електрообладнання.

4) Захисне заземлення.

Є ефективним методом захисту при живленні електрообладнання від електричних мереж напругою до 1000 В з ізолюючою нейтраллю. Дія заземлення ґрунтується на зниженні напруги дотику, що досягається за рахунок малого опору заземлення в електроустановках з ізолюючою нейтраллю.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		81

Захист від високого потенціалу і статичної електрики виконуються шляхом приєднання на вводах у будівлі усіх металевих трубопроводів та металевих частин будівельних конструкцій до пристрою заземлення.

Проектом прийнята система заземлення TN-C-S з роздільним нульовим робочим «N» і нульовим захисним «PE» провідниками, працюючими роздільно по всій мережі живлення і об'єднаних між собою в щиті 0,4 кВ «ЩК». Для захисного заземлення відкритих провідних частин електрообладнання використовується самостійний нульовий захисний провідник «PE» третій в однофазній мережі і п'ятий в трифазній мережі.

5.5. Пожежна безпека

В операторській при короткому замиканні може відбутися загорання кабелів, з виділенням диму і отруйних речовин.

Категорія цеху підготовки сумішей відноситься за категорією вибухопожежної і пожежної безпеки до класу – В, ступінь вогнестійкості клас – II.

Допустима відстань від самого віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу – 7,5 м. Найбільша допустима площа поверху між протипожежними стендами при кількості поверхів в будівлі - 2 буде нараховувати 2000 м.кв.

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- 1) порушення елементарних правил пожежної безпеки;
- 2) несправність електроустаткування, електромереж;
- 3) порушення електротехнічних правил;
- 4) загоряння газів;

Для здійснення безпеки обслуговуючого персоналу при експлуатації технічних засобів автоматичної пожежної сигналізації і виконанні ремонтних робіт передбачено:

- використання пожежних сповіщувачів згідно умов їх експлуатації;
- відсутність радіоізотопних сповіщувачів;

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		82

- гучномовне оповіщення персоналу про пожежу;
- світлозвукове оповіщення персоналу про пожежу.

При виникненні пожежі необхідно терміново викликати пожежну охорону, відвести в безпечне місце людей та по можливості паливні матеріали, і приступити до гасіння пожежі засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопата, багор, відро), дотримуючись правил техніки безпеки.

Цех оснащується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, лопата, ящик з піском, багор, відро), що розташовані на пожежному щиті. Засоби пожежогасіння повинні відповідати вимогам “Інструкції по утриманню та застосуванню засобів пожежогасіння на підприємствах”.

В тому числі приміщення захищене щоголовим блискавковідводом висотою 32 м.

Блискавковідвід приєднується сталевую полосою 40х4 мм до спеціального заземлювача, який складається з двох електродів довжиною 7,5 м, які з'єднуються між собою сталевую полосою 40х4 мм.

Заземлювач блискавкозахисту приєднаний до існуючого контуру заземлення. Опір заземлюючого пристрою більше 100 Ом.

Для гасіння електропроводок і електроустаткування під напругою передбачені порошкові вогнегасники ОПС–10 – 2 шт., також є вуглекислотні вогнегасники ОУ–5 2 шт. Приміщення операторської обладнане електричною системою. Датчики – сповіщувальні типу ДЛТ з'єднані з прийомною станцією по променевій системі. При підвищенні температури легкозаймистий шар, що з'єднує кінці двох пружних дротів, розплавляється, розривається електричний ланцюг і спрацьовує сигналізація. Також у операторській передбачений прямий телефонний зв'язок з пожежною охороною підприємства.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		83

Висновки

У даній роботі було розглянуто виробництво технічного вуглецю термічним розкладанням. Вся інформація по даному виробництву викладена у п'ятих розділах.

У першому розділі детально описаний кінцевий продукт виробництва – технічний вуглець, класифікація різних хімічних елементів з карбону та різниця між ними, властивості, притаманні вуглецю. Далі наведена інформація про виробництво технічного вуглецю як бранч промисловості вцілому, та як окрема мануфактура.

Другий розділ содержит математичне моделювання об'єкта – циклонного реактора: сформульовано закон керування, статичні та динамічні характеристики, рівняння за Лапласом та у формі Коші, передатні функції об'єкта та наведено перехідні характеристики.

У третьому розділі було охоплено синтез систем керування з різними регуляторами та їх настройками. Проведено знайомство із середовищем Simulink, а також надавальними конструйованими блоками для моделювання. Побудовано різні системи управління, досліджено їх та проведено порівняльний аналіз.

Четвертий розділ містить у собі опис технологічної схеми виробництватехнічного вуглецю: опис роботи системи, опис контурів, аварійний захист та систему технічних блокувань.

У п'ятому розділі були встановлені норми охорони праці. Міри захисту забезпечують відповідність лінії до вимог охорони праці та навколишнього середовища, безпечну роботу персоналу на лінії виробництва та готовність до надзвичайних ситуацій.

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		84

Література

1. **М. В. Лукінюк** Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Біблігр.: с. 230-231. – 200.

2. **М. В. Лукінюк** Технологічні вимірювання та прилади Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. для курс. проектування. – К., 2002. – 257 с.: іл.

3. *Датчики: Справочник* / З. Ю. Готра, Л. Я.Ильницький, Е. С.Полищук и др. / Под ред. З. Ю. Готры, О. И. Чайковского. – Л.: Каменяр, 1995. – 312 с.

4. *ДСТУ 2681–94*. Метрологія. Терміни та визначення. – Чинний від 26.07.1994. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

5. *ДСТУ Б А.2.4–3:2009*. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. Чинний від 23.01.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 54 с.

6. *Ротач В. Я.* Теория автоматического управления [Текст]: учеб. для студ. вузов / В. Я. Ротач. – Москва: Изд. МЭИ, 2004. – 400 с. – Библиогр.: с. 394. – ISBN 978-5-903072-69-9.

7. Вікіпедія – вільна енциклопедія [Електронний ресурс] // <http://ua.wikipedia.org>

8. **А. І .Жученко, Т. В. Аверіна** Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» напряму «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» /Жученко А.І., Т.В.Аверіна – К.: КПІ, 2009. -40 с

9. **Т.В.Аверіна М.В.Лукінюк В.М.Ковалевський А.І.Кубрак** Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» напряму «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технологічні комплекси» /

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		85

Уклад.: Т.В.Аверіна, М.В.Лукінюк, В.М.Ковалевський, Кубрак А.І. - К.: КПІ,
2007.

10. **В. П. Зуев, В. В. Михайлов** – «Производство сажи»

					ДП.5115.000.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		86

ДОДАТОК 1

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-1	Витрата	Суміші, трубопровід	220 м ³ /год	Трубопровід 28	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 150$ мм; граничнодопустима осн. похибка 1,5 %	ДКС0,6–100	12 од.	ВАТ «Пром-прилад», м. Івано-Франківськ
6-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
9-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 29				
11-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 29				
13-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
16-1		Повітря, трубопровід		Трубопровід 3				
17-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 29				
19-1		H ₂ O, трубопровід		Трубопровід 1				
21 -1		Повітря, трубопровід		Трубопровід 3				
2-2	Витрата	Суміші, трубопровід	220 м ³ /год	Місцевий	Дифманометр безшкальний пневматичний із квадра-тичною функцією перетворення; матеріал чутливого елемента – сплав 36НХТЮ; $\Delta P_{max} = 400$ кПа; темпе-ратура повітря (-	13ДД11 (мод. 720)	12 од.	ВО «Теплоприбор», м. Рязань
6-2		Суміші, трубопровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

87

9-2		Суміші, трубоп- ровід			50)...80 °С, відстань передачі сигна-лу за внутрішнього діаметру трубки 6 мм – 300 м, клас точності 1, Рвих = 20...100 кПа			
11-2		Суміші, трубоп- ровід						
13-2		Суміші, трубоп- ровід						
16-2		Повітря, трубоп- ровід						
17-2		Суміші, трубоп- ровід						
19-2		Н ₂ О, трубопровід						
21 -2		Повітря, трубоп- ровід						
2-3	Витрата	Суміші, трубоп- ровід	220 м ³ /год	Щит керуван- ня	Прилад вторинний пневматичний, показува- льний, реєструвальний Р _{вх} = 20 ... 100 кПа, похибка спрацьовування ±0,6 %	ФК0071	14 од.	АТ «Тизпри- бор», м. Москва
6-3		Суміші, трубоп- ровід						
9-3		Суміші, трубоп- ровід						
11-3		Суміші, трубоп- ровід						
13-3		Суміші, трубоп- ровід						
16-3		Повітря, трубоп- ровід						
17-3		Суміші, трубоп- ровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

88

19-3		H ₂ O, трубопровід						
21 -3		Повітря, трубопровід						
2-4	Витрата	Суміші, трубопровід	220 м ³ /год	Щит керування	Блок ручного керування	БРУ-7	12 од.	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано- Франківськ
6-4		Суміші, трубопровід						
9-4		Суміші, трубопровід						
11-4		Суміші, трубопровід						
13-4		Суміші, трубопровід						
16-4		Повітря, трубопровід						
17-4		Суміші, трубопровід						
19-4		H ₂ O, трубопровід						
21 -4		Повітря, трубопровід						
2-4		Суміші, трубопровід						
6-4		Суміші, трубопровід						
9-4		Суміші, трубопровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

89

2-5	Витрата	Суміші, трубопровід	220 м ³ /год	Щит керування	Перетворювач пневмоелектричний, Р _{вх} = 20...100 кПа; І _{вих} = 0...5 (0...20 мА, 4...20 мА); граничнодопустима основна зведена похибка ±0,5; Р _{мах} = 400 кПа; Р _{жив} = 140 кПа; діапазон робочих температур 5...50 °С; монтаж на Din-рейку; індикація вимірюваного параметра; інтерфейс RS-485	МТМ 4000PI-ДЗ	12 од.	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
6-5		Суміші, трубопровід						
9-5		Суміші, трубопровід						
11-5		Суміші, трубопровід						
13-5		Суміші, трубопровід						
16-5		Повітря, трубопровід						
17-5		Суміші, трубопровід						
19-5		Н ₂ O, трубопровід						
21 -5		Повітря, трубопровід						
1-1	Тиск	Суміші, трубопровід	1 МПа	Трубопровід 28	Вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску, Р _{мах} = 1 МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ, І _{вих} = 0...5 мА	«Сапфир-22ДИ», мод.2150	11 од.	ВО «Геофізприлад», м. Івано-Франківськ
3-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
4-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
5-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
8-1		Повітря, трубопровід		Трубопровід 3				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

90

10-1		Повітря, трубо- провід		Трубопровід 3				
12-1		Суміші, трубо- провід		Трубопровід 28				
15-1		Повітря, трубо- провід		Трубопровід 3				
18-1		H ₂ O, трубопровід		Трубопровід 1				
20-1		Повітря, трубо- провід		Трубопровід 3				
23-1		Повітря, трубо- провід		Трубопровід 3				
1-2	Тиск	Суміші, трубо- провід	1МПа	Щит керуван- ня	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А-1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; гра- ничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація	ІТМ-11	11од	ВАТ «Підп- риємство “МІКРОЛ”», м. Івано- Франківськ
3-2		Суміші, трубо- провід						
4-2		Суміші, трубо- провід						
5-2		Суміші, трубо- провід						
8-2		Повітря, трубо- провід						
10-2		Повітря, трубо- провід						
12-2		Суміші, трубо- провід						
15-2		Повітря, трубо- провід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

91

18-2		H ₂ O, трубопровід						
20-2		Повітря, трубопровід						
23-2		Повітря, трубопровід						
7-1	Температура	Суміш, трубопровід	110 °C	Трубопровід 28	Термоелектричний перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ К, діапазон вимірювання (50)...1050 °C, захисна арматура – сталь ХН45Ю, довжина монтажної частини 320...2500 мм; діаметр захисної арматури 16 мм; Р _у = 1,6 МПа; інерційність 50 с; клас допуску 2	ТХАУ-706-02	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк
14-1		Суміш, трубопровід	300 °C	Трубопровід 28	Термоперетворювач, типу ТСПУ, діапазон вимірювання 0...500 °C; основна похибка 0,25 %; U _{жив} = 24 В; Р = 25 МПа; I _{вих} = 4...20 Ма	ТСПУ-205Ех,	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк
22-1		Повітря	350 °C	Трубопровід 3	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ 50П, діапазон вимірювання (50)...120 °C, Р _{max} = 25 МПа, довжина монтажної частини 20...400 мм, захисна арматура – латунь Л62; інерційність 20 с, клас допуску А, В	ТСПУ-1388	2 од.	НВО «Електротермія», Приладобудівний 3-д, м. Луцьк
25-1		Суміш, трубопровід	280 °C	Трубопровід 28				
7-2	Температура	Суміш, трубопровід	110 °C	Трубопровід 28	Термоелектричний перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ К, діапазон вимірювання (50)...1050 °C, захисна арматура – сталь ХН45Ю, довжина монтажної частини 320...2500 мм; діаметр захисної арматури 16 мм; Р _у = 1,6 МПа; інерційність 50 с;	ТХАУ-706-02	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

92

					клас допуску 2			
14-2		Суміш, трубо- провід	300 °С	Трубопровід 28	Термоперетворювач, типу ТСПУ, діапазон вимірювання 0...500 °С; основна похибка 0,25 %; $U_{жив} = 24 \text{ В}$; $P = 25 \text{ МПа}$; $I_{вих} = 4...20 \text{ Ма}$	ТСПУ- 205Ех,	1 од.	НВО «Елект- ротермія», м. Луцьк
22-2		Повітря	350 °С	Трубопровід 3	Термоперетворювач опору платиновий з уніфі- кованим вихідним сигналом, НСХ 50П, діапа- зон вимірювання (50)...120 °С, $P_{max} = 25 \text{ МПа}$, довжина монтажно́ї частини 20...400 мм, захис- на арматура – латунь Л62; інерційність 20 с, клас допуску А, В	ТСПУ- 1388	2 од.	НВО «Елект- ротермія», Приладобуді- вний з-д, м. Луцьк
25-2		Суміш, трубо- провід	280 °С	Трубопровід 28				
7-3	Темпера- тура	Суміш, трубо- провід	110 °С	Щит керуван- ня	Автоматичний показувальний і реєструваль- ний вторинний прилад із вбудованим присто- єм сигналізації; вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК 250	4 од.	ВАТ «Теплопри- бор», м. Челябінськ
14-3		Суміш, трубо- провід	300 °С					
22-3		Повітря	350 °С					
25-3		Суміш, трубо- провід	280 °С					
26-1	Концент- рація	Суміш, трубо- провід		Трубопровід 30	Первинний (проточний) перетворювач кон- дуктоте-ричного аналізатора рідини АЖК-1 [контроль пи-томої електропровідності (ПЕП) знесоле́ної води, ро-зчинів кислот, лугів і со- лей на теплоелектроцентра-лях, у хімічній, нафтопереробній та інших галузях] з при- строєм сигналізації; діапазон ви-мірю-вання 0...10, 0...100, 0...1000 мСм/см; температура робочо-го середовища 0...100 °С, тиск до 1	АЖК- 3101.1	1 од.	НВО «Автомати- ка», м. Володи- мир

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

93

					МПа, термоком-пенсація забезпечується у межах $\pm 15^{\circ}\text{C}$; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ і $4 \dots 20$ мА			
26-2	Концентрація	Суміш, трубопровід		Місцевий	Вторинний прилад кондуктометричного аналізатора рідини кондуктометричного АЖК-1; граничнодопустима осн. зведена похибка аналізаторів питомої електропровідності – до 2 %, аналізаторів концентрації – до 5 %; додаткова похибка не перевищує 0,5 граничнодопустимої основної; оснащений пристроєм сигналізації	АЖК-3101.2	1 од	НВО «Автоматика», м. Володимир
26-3	Концентрація	Суміш, трубопровід		Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100$ кПа, похибка спрацьовування $\pm 0,6$ %	ФК0071	1 од.	АТ «Тизприбор», м. Москва
26-4	Концентрація	Суміш, трубопровід		Щит керування	Блок ручного керування	БРУ-7	12 од.	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛТ», м. Івано-Франківськ

ЕЛЕКТРОАПАРАТИ

SB1 SB2 SB3 SB4 SB5 SB6 SB7 SB8 SB9	Витрата	Насос	80 м ³ /год	Щит керування	Пост керування кнопковий, номінальна робоча напруга 220, 380, 660 В	ПКУ-123-11	24 од.	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ
---	---------	-------	------------------------	---------------	---	------------	--------	-------------------------------------

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

94

SB10 SB11 SB12 SB13 SB14 SB15 SB16 SB17 SB18 SB19 SB20 SB21 SB22 SB23 SB24								
МП1 МП2 МП3 МП4 МП6 МП7 МП8 МП9 МП10 МП11 МП12 МП13 МП14				Місцевий	Пускач магнітний безконтактний неревверсивний з реле IP-20; I _{вх} = 160 А	ПМ-12 01025	14 од.	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
HL2 HL4 HL6				Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{жив} = 220 \text{ В}, 50/60 \text{ Гц}, d = 27 \text{ мм},$	СКЛ-11- 3-2-220	28 од.	ВАТ «Кашинский завод электро- аппаратуры», м. Москва

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

95

HL8					сила світла 20 мКд			
HL10								
HL12								
HL14								
HL16								
HL18								
HL20								
HL22								
HL26								
HL28								
HL30								
HL32								
HL34								
HL36								
HL38								
HL40								
HL42								
HL44								
HL46								
HL48								
HL51								
HL53								
HL55								
HL57								
HL59								
HL1					Лампа сигнальна світлодіодна з червоним індикатором («СТОП»), Ужив = 220 В, 50/60 Гц	ЛС 47-2	30 од.	«ІЕК Україна», м. Київ
HL3								
HL5								
HL7								
HL9								
HL11								
HL13								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5115.00.000

Арк

96

HL15								
HL17								
HL19								
HL21								
HL25								
HL27								
HL29								
HL31								
HL33								
HL35								
HL37								
HL39								
HL41								
HL43								
HL45								
HL47								
HL49								
HL50								
HL52								
HL54								
HL56								
HL58								
HL60								

					ДП.5115.00.000	Арк
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97